Dossier nº 6

LES TERRES DU CANADA: STRESS ET IMPACTS

Produit et coordonné
par
Wendy Simpson-Lewis
Ruth McKechnie
V. Neimanis

Direction de la recherche
et du développement en
matières politiques
Direction générale des terres
Environnement Canada

Ottawa
1983

Composition
mise en page
et impression: Approvisionnements et Services Canada
Services de communication
Imprimerie du gouvernement canadien

Photo de la page couverture: Malak, Ottawa

Présentation de la page couverture: Marc Stewart: et
Hadwen Graphics, Ottawa.

Utilisation de la
photo autorisée par: Musées nationaux du Canada

Les opinions exprimées sont celles des auteurs mentionnés et ne reflètent pas nécessairement les vues d'Environnement Canada.

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1983

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste au:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

N° de catalogue En 73-2/6F
ISBN 0-660-91071-3

Canada: $18.00
à l'étranger: $21.60

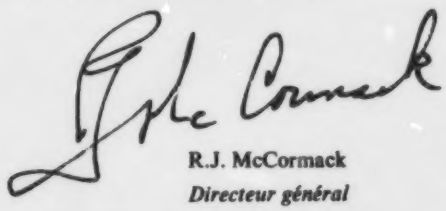
Prix sujet à changement sans avis préalable.

AVANT-PROPOS

Toute l'organisation économique et sociale de la nation repose sur ses ressources, et la principale d'entre elles, la terre, est le cadre des activités sociales et économiques de l'humanité, le milieu où nous devons vivre. Cependant, nos activités ont des répercussions importantes sur cette ressource car nous vivons et travaillons sur la terre, nous en tirons notre subsistance et y enfouissons nos déchets. Mais, comme c'est souvent le cas, nous prenons davantage que nous ne donnons; ce que nous retournons à la terre est souvent incompatible avec son utilisation prolongée. Plus nous utilisons les ressources en terres du pays, plus les pressions exercées sur cet écosystème fragile s'accroissent et avec le temps, nos activités finiront par avoir de sérieuses répercussions sur l'utilisation à long terme des terres en tant que ressource fondamentale.

La présente publication porte sur ce que les Canadiens font subir à leurs ressources foncières. Nous y analysons plusieurs des activités qui, du fait qu'elles exercent des pressions sur les terres, contribuent à leur dégradation ou en réduisent l'utilité. La Direction générale des terres a déjà publié des études sur la répartition des ressources en terres au Canada et sur l'adéquation entre leurs diverses utilisations et leur potentiel. D'autres travaux ont porté sur les moyens de répartir ces ressources ainsi que sur les mesures de contrôle - telles la planification ou le zonage - qui visent à assurer que la terre est productive, du point de vue de la société. Le présent ouvrage constitue l'un des premiers volets de la deuxième phase de l'analyse de l'utilisation des terres au Canada, qui traite de la façon dont les gens utilisent les terres une fois leur utilisation déterminée, et des résultats des diverses pratiques de gestion sur l'ensemble des ressources en terres. Il s'agit donc, dans un premier temps, de déterminer certaines des pressions les plus apparentes qui s'exercent sur les terres et d'examiner leurs incidences sur la richesse en ressources proprement dite.

Les terres: Stress et impacts fait partie d'un programme continu de la Direction de la recherche et du développement en matières politiques de la Direction générale des terres. Ce programme est destiné à informer le public canadien à propos des grandes problématiques concernant les terres. Si cette publication arrive à susciter de l'intérêt sur la façon dont nous assurons la gestion de nos ressources en terres, elle aura atteint son but. Dans un certain sens, nous sommes tous responsables de ce qu'il advient de nos ressources naturelles. Notre héritage foncier est déterminé par les choix que font les propriétaires terriens, les industriels, les gouvernements et les groupes sociaux. Comme le fait ressortir la présente étude, il nous reste à élaborer une éthique de conservation cohérente et sérieuse sur laquelle appuyer nos choix en matière d'utilisation des terres. Nous espérons que, grâce aux recherches futures et à la sensibilisation des millions de personnes chargées de prendre des décisions en la matière, les Canadiens finiront par prendre conscience de l'importance qu'il y a à gérer sainement leurs précieuses ressources en terres.



R.J. McCormack
Directeur général
Direction générale des terres

REMERCIEMENTS

Les agents de recherche désirent remercier toutes les personnes qui les ont aidés à élaborer ce rapport. Nous aimerions spécialement exprimer notre reconnaissance à Suzanne Willems et son équipe, la Direction des services centralisés de traduction, Division de Montréal, Section 1, pour leur excellent travail de traduction; aux rédacteurs: Yann Plunier et son équipe, Module d'édition française, Environnement Canada; Bana Barazi-Wood, Bureau des traductions, Secrétariat d'État; André Lavallée, Service canadien des forêts, Environnement Canada; G.B. Rivoche, Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada; et Normand Rousseau, Service aux programmes de Recherche, Agriculture Canada pour leurs contributions aux neuf chapitres. Nous voulons remercier également Carole Aubin-Lalonde, qui a patiemment dactylographié et redactylographié les innombrables brouillons jusqu'à la version finale, Jean-Jacques Lafontaine et le personnel de l'imprimerie du gouvernement canadien, qui ont traité le manuscrit et lui ont donné sa forme définitive, le bureau de cartographie de l'Institut de recherche sur les terres, Agriculture Canada et la Division du dessin du Service de la conservation de l'environnement, qui ont préparé les cartes et les figures et assuré la coordination des travaux photographiques qui accompagnent le texte. Enfin n'oublions pas le personnel de la bibliothèque d'Environnement Canada, qui nous a aidés à obtenir les documents nécessaires à la recherche, Rachelle Glaude et Sliman Henchiri, pour l'aide spéciale qu'ils ont apportée à la correction d'épreuves, et Malak, pour l'impressionnante page couverture.

Nous désirons également exprimer toute notre reconnaissance aux agents de recherche de la Direction générale des terres responsables de la coordination, de la supervision et de la production de cette publication. Wendy Simpson-Lewis s'est chargée des chapitres intitulés «Étude des contraintes exercées sur les terres par l'exploitation aéroportuaire fédérale au Canada», «Gravières et carrières: Répercussions sur les terres et restauration du site» et «Dégradation des terres par suite d'une utilisation agricole intensive»; Ruth McKechnie s'est occupée des chapitres intitulés «Les déversements côtiers d'hydrocarbures et leur impact sur les terres», «L'accident du KURDISTAN: L'impact sur le littoral d'un déversement de pétrole en mer», «Les déversements intérieurs d'hydrocarbures et leur impact sur les terres», «Méthodes de foresterie et contraintes exercées sur les terres forestières canadiennes»; V. Neimanis a pris soin des chapitres suivants: «Déchets radioactifs produits par les centrales nucléaires alimentées à l'uranium» et «La terre et le droit de l'environnement».

TABLE DES MATIÈRES

Page

1. **INTRODUCTION À LA NOTION DE STRESS DES TERRES** 1
   V. Neimanis, Ruth McKechnie et Wendy Simpson-Lewis

2. **DÉCHETS RADIOACTIFS PRODUITS PAR LES CENTRALES NUCLÉAIRES ALIMENTÉES À L'URANIUM** 13
   Ian G. Redmond de concert avec C. Barraud, W.B. Blakeman et E.F. Muller

3. **LES DÉCHARGES CONTRÔLÉES ET LEURS INCIDENCES SUR LES TERRES** 35
   Ruth McKechnie, Wendy Simpson-Lewis et V. Neimanis

4. **ÉTUDE DES CONTRAINTES EXERCÉES SUR LES TERRES PAR L'EXPLOITATION AÉROPORTUAIRE FÉDÉRALE AU CANADA** 99
   Kathleen G. Beattie

5. **DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES: CÔTIERS ET INTÉRIEURS** 133

   LES DÉVERSEMENTS CÔTIERS D'HYDROCARBURES ET LEUR IMPACT SUR LES TERRES 133
   Edward H. Owens

   L'ACCIDENT DU KURDISTAN: L'IMPACT SUR LE LITTORAL D'UN DÉVERSEMENT DE PÉTROLE EN MER 153
   Esther Kienholz

   LES DÉVERSEMENTS INTÉRIEURS D'HYDROCARBURES ET LEUR IMPACT SUR LES TERRES 166
   W.B. McGill et D. Bergstrom

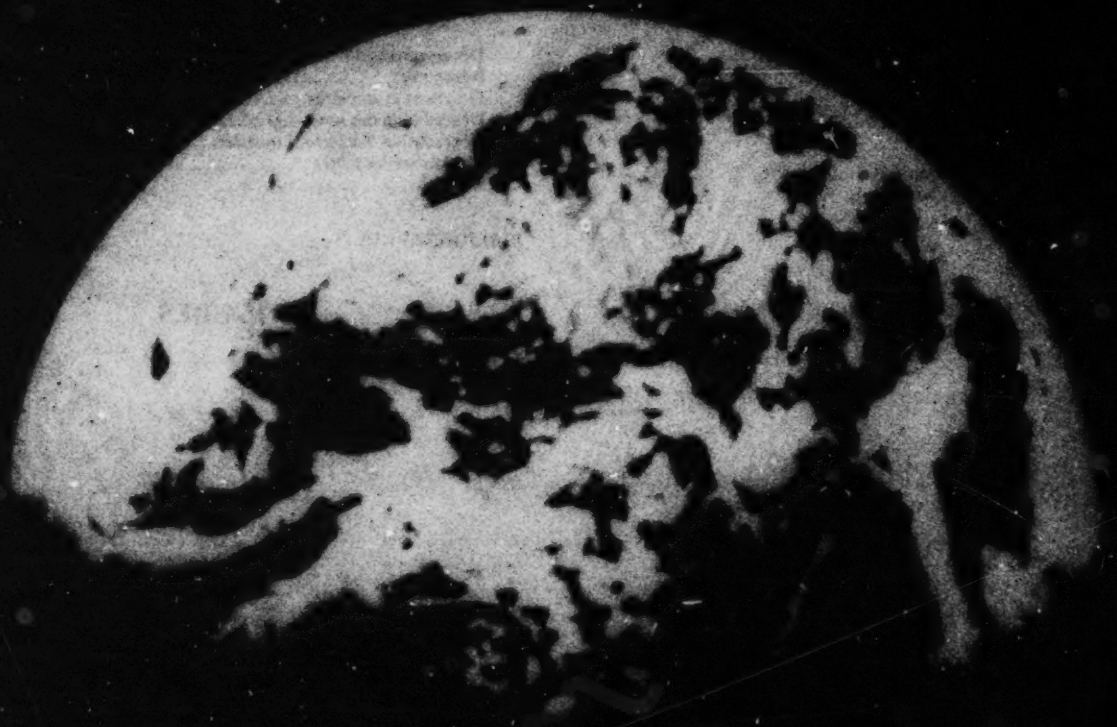
6. **GRAVIÈRES ET CARRIÈRES: RÉPERCUSSIONS SUR LES TERRES ET RESTAURATION DU SITE** 197
   A.G. McLellan

7. **DÉGRADATION DES TERRES PAR SUITE D'UNE UTILISATION AGRICOLE INTENSIVE** 245
   D.R. Coote

8. **MÉTHODES DE FORESTERIE ET CONTRAINTES EXERCÉES SUR LES TERRES FORESTIÈRES CANADIENNES** 279
   G.F. Weetman

9. **LA TERRE ET LE DROIT DE L'ENVIRONNEMENT** 327
   James Arthur Girling

INTRODUCTION



INTRODUCTION À LA NOTION DE STRESS DES TERRES

V. Neimanis, Ruth McKechnie et Wendy Simpson-Lewis*

* *Les auteurs sont agents de recherche à la Direction générale des terres, Environnement Canada, Ottawa (Ontario)*

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LA TERRE: UNE PLANÈTE UNIQUE EN SON GENRE	3
La terre	3
Que signifie le mot «stress»?	4
Stress exercé sur les personnes et sur la société	4
Stress exercé sur les ressources de la Terre	4
Notion de stress exercé sur les terres	5
GRILLE D'ANALYSE	5
QUEL EST L'OBJET DE NOTRE PUBLICATION?	6
Élimination des déchets radioactifs	7
Décharges contrôlées	7
Déversements d'hydrocarbures: côtiers et intérieurs	7
Aéroports	8
Gravières et carrières	9
Dégradation des terres agricoles	9
Dégradation des terres forestières	10
Les lois sur les terres	11
Résumé	11
BIBLIOGRAPHIE	12

FIGURES

1. Grille d'analyse 6

LA TERRE: UNE PLANÈTE UNIQUE EN SON GENRE

«La Terre est unique», se sont écriés les astronautes américains en voyant la planète suspendue dans l'espace pendant leur voyage vers la Lune. «Enfin, des Terriens, pour la première fois dans l'histoire du monde, pouvaient vérifier *de visu* ce que les sages enseignaient depuis des temps immémoriaux: la Terre est unique, elle forme un ensemble inextricable de rocs et de minéraux, d'air et d'eau, de plantes et d'animaux - y compris l'homme lui-même»* (Marzanni, 1972). La Terre est en effet un système fermé, un réseau infiniment complexe d'interrelations entre la terre, l'air et l'eau et tous ses habitants, dont l'Homme, espèce particulière, souvent égocentrique. Toute tentative pour décrire la planète dans son ensemble se heurte à un paradoxe: les étendues y sont vastes, et pourtant petites; les ressources y abondent, et pourtant il en manque. Poussière dans l'univers, la Terre est capable d'assurer l'existence de l'Homme.

«Les mers et les océans constituent 71 pour cent de la superficie de la Terre. Le reste est occupé par la terre ferme sur laquelle vivent près de quatre milliards de personnes et une infinité d'animaux» (Vicars, 1982). Sur ces 29 pour cent restants, l'Homme naît, vit et meurt. Les conséquences de ses gestes doivent être étroitement surveillées car il agit sur un système global sur lequel il a, certes, une influence, mais qu'il est loin de connaître suffisamment et sur lequel il n'a aucune maîtrise absolue. L'humanité a la responsabilité d'assurer sa propre survie et sa propre protection - elle doit même se protéger d'elle-même.

Notre mode d'utilisation et de gestion de nos ressources en terres a des répercussions à long terme sur leurs possibilités d'utilisation. Certaines activités exercent des pressions indues sur ces ressources finies, qui influent, temporairement ou de façon permanente, sur leur utilisation et leur valeur. Cet ouvrage porte sur la dégradation des terres par suite du «stress» exercé par leurs diverses utilisations. Pour pouvoir bien comprendre ce que nous voulons dire, il faut d'abord définir ce que nous entendons par «terre» et par «stress».

La terre

Qu'est-ce que la terre et en quoi diffère-t-elle du sol? Le sol, avec ses diverses propriétés physiques et ses possibilités d'utilisation différentes, est habituellement considéré comme un domaine relevant des sciences naturelles. Le terme «terre», d'autre part, est beaucoup plus vaste et son champ sémantique englobe non seulement l'élément physique qu'est le sol, mais également les éléments sociaux, politiques, environnementaux et, surtout, économiques. Certains de ces aspects sont décrits ci-dessous. (Committee on Soil as a Resource in Relation to Surface Mining for Coal, 1981).

La terre, c'est le sol:

> Le sol est un produit du climat, de la végétation indigène et de la roche mère. C'est le milieu vital des écosystèmes naturels et contrôlés. Les composantes minérales et organiques du sol - à la base de sa productivité - ne peuvent pas toujours se renouveler ou se renouvellent à un rythme excessivement lent. Il faut, en moyenne, environ 200 ans pour former 1 cm de sol. Le sol est l'épiderme de la Terre.

La terre, c'est un entrepôt:

> Le manteau terrestre, partie solide de la planète, a une épaisseur de 2 900 km. Elle contient des combustibles fossiles et d'autres minéraux qui sont à l'origine des progrès industriels. À l'occasion, l'exploitation de ces matériaux ou de ces ressources souterrains empêchent toute autre utilisation des ressources en surface, c'est-à-dire sur la terre, si on la place dans un contexte plus étroit.

La terre, c'est un potentiel:

> La terre ne se prête qu'à un nombre fini d'utilisations ou d'activités sans risques de dommages permanents. La notion de potentiel relie les caractéristiques intrinsèques de la terre à une activité ou une utilisation donnée.

La terre, c'est un espace:

> La terre est plus qu'une entité physique. Elle fait partie de notre espace vital, du milieu où nous vivons, évoluons, grandissons et poursuivons toutes nos activités. Que nous en soyons conscients ou non, notre «espace personnel» est défini en grande partie par la terre.

La terre, c'est un lieu d'appartenance:

> La terre nous donne un sens d'appartenance, très important pour les humains. Nous nous définissons souvent en fonction d'un lieu, que ce soit un pays, une longitude et une latitude, une adresse ou un repère géographique. Ce sens du lieu nous situe par rapport aux autres choses.

La terre, c'est un bien:

> «La désirabilité et, par conséquent, la valeur d'une parcelle, toutes choses étant égales d'ailleurs, dépend de l'organisation fonctionnelle de la vie humaine» (Peltier, 1981). C'est nous, individuellement et collectivement, qui déterminons la valeur de la terre. La terre, c'est un bien-fonds dont la valeur est mesurée en dollars. La terre, en tant que bien, est achetée et vendue en fonction de sa superficie ou de l'espace qu'elle occupe. Certaines de ses caractéristiques naturelles, telles sa structure, sa topographie et sa fertilité, la rendent plus propice à certaines utilisations qu'à d'autres, comme dans le cas de l'agriculture, par exemple. Toutefois, les autres «propriétés» de la terre, telles son emplacement, son accessibilité et l'espace disponible peuvent faire qu'une parcelle soit utilisée comme terrain de stationnement. Par conséquent, la valeur d'une terre, que ce soit en argent ou en fonction de paramètres intangibles, dépend de la mesure dans laquelle on peut en tirer certaines utilisations précises, du degré selon lequel elle répond à certains besoins et de l'utilisation la plus rentable qu'il est possible d'en faire. L'un des tenants les plus connus de la sauvegarde des terres a déjà dit: «Nous abusons de la terre parce que nous la considérons comme un bien nous appartenant» (Leopold, 1966).

La terre, c'est une ressource finie:

> La terre est une ressource limitée qui comprend la mince couche de sol fertile ainsi que les milliers de kilomètres qui se trouvent au-dessous mais toutes les terres ne se ressemblent pas. Leur potentiel de productivité, leur qualité esthétique, leur emplacement, etc. diffèrent et leur valeur varie en fonction des utilisations. Du point de vue qualitatif comme du point de vue quantitatif, la terre ne peut se prêter à diverses utilisations que dans une mesure limitée.

La terre est tout cela, et plus encore. L'idée que nous nous en faisons repose sur un ensemble de valeurs sociales, politiques, matérielles, environ-

* Toutes les citations dans ce chapitre sont des traductions libres.

nementales et personnelles. Mais, l'unicité de cette ressource limitée tient surtout à une autre raison. En effet, contrairement à l'air et à l'eau, la terre, qui sert autant l'individu que la société, est considérée principalement en fonction de sa valeur économique. Bien qu'elle soit soumise à un régime de propriété privée, elle est aussi un bien collectif et, à ce titre, elle doit répondre aux besoins de toute la planète. Des problèmes naissent donc inévitablement lorsqu'il y a conflit entre le point de vue de la société et celui de l'individu, quant à la terre.

Si les colons qui se sont installés dans le «nouveau monde» de l'Amérique du Nord ont laissé derrière eux le système féodal de propriété foncière, ils ont quand même apporté leur conscience aiguë de la valeur de la terre. L'étendue du nouveau monde semblait infinie, et leur première tâche a été de s'en octroyer ou d'en aménager une parcelle.

> *«L'individualisme forcené des premiers colons, ancré dans leurs antécédents culturels, a été renforcé davantage par le caractère sauvage et sans limites du nouveau monde. La disproportion entre le faible nombre des colons et la tâche énorme à accomplir pour dompter la nature a donné davantage d'importance à chacun d'eux... et le droit d'accumuler des propriétés a donné à des gens d'origine très humble l'occasion d'accéder au sommet de la société coloniale... L'individu est ainsi apparu comme le centre du pouvoir, l'étalon de toutes les valeurs, maître chez lui et dans son domaine»* (American Association of School Administrators, 1964).

Un profond sentiment de valeur et de satisfaction personnelle a toujours été attaché à la propriété foncière et, jusqu'à maintenant, les droits de propriété ont toujours été jalousement défendus. Il y a donc conflit entre le fait que la société voit dans la terre une «ressource», tandis que l'individu la considère comme un «bien personnel» tout comme les valeurs et les principes de chaque personne viennent souvent à l'encontre de l'intérêt commun.

Que signifie le mot «stress»?

Ouvrez n'importe quel magazine ou journal anglais, et vous avez une chance sur deux de trouver le mot «stress» dans un des gros titres. On entend souvent parler du stress provoqué par le surmenage, l'inflation, le chômage, les grèves et la pauvreté. On nous dit comment supporter le stress ou le réduire, on nous parle de ses effets physiques et psychologiques néfastes dont les gens souffrent à divers degrés, et de la façon dont on peut l'utiliser pour atteindre certains buts. Le mot «stress» est utilisé dans plusieurs domaines, aussi bien en médecine, en psychologie, en biologie, en géologie, en éducation physique qu'en linguistique. Tout le monde a entendu au moins une fois ce mot à la mode qui est entré dans notre vocabulaire de tous les jours; pourtant, il est rare que l'on tente de le définir.

Le Dr Hans Selye, bien connu pour sa participation à l'étude de la notion médicale de stress, dit en définition qu'il est «la réponse non spécifique de l'organisme à toute demande qui lui est faite» (Selye, 1973). Pour répondre à une demande non spécifique, l'organisme doit se réajuster ou s'adapter en fonction du problème, quel qu'il soit. Le Dr Selye s'explique en ces termes: «Il importe peu, sur le plan de l'activité productrice de stress ou stressante, que l'agent ou la situation auxquels nous faisons face soient plaisants ou déplaisants; tout ce qui compte, c'est l'intensité de la demande de réajustement ou d'adaptation» (Selye, 1974).

> *«L'expression «stress psychologique» est le terme générique qui désigne des états émotifs déplaisants provoqués par des événements ou des stimuli menaçants (Janis, 1958; Janis et Mann, 1968). Est «stressante» toute modification de l'environnement qui ne manque pas d'induire une forte émotion déplaisante (p. ex., un sentiment d'anxiété, de culpabilité, de honte) et qui perturbe les réseaux normaux de traitement de l'information...»* (Janis et Mann, 1977).

Pour les géologues, le mot «stress» signifie tension:

> *«1. La force par unité de surface, calculée en divisant la force totale par la surface sur laquelle la force est appliquée.*
>
> *2. L'intensité à un point donné d'un corps matériel des forces internes ou des composantes de cette force qui agissent dans le plan donné pour un point donné du corps. Dans la spécification des produits, le «stress» est calculé en fonction des dimensions originales de la section transversale du spécimen»* (American Geological Institute, 1962).

Le mot «stress» (tension) est d'ailleurs souvent utilisé en conjonction avec d'autres mots: fissure de tension, corrosion sous tension, ligne de tension, champ de tension, amplitude de tension et intensité de tension. En fait, il y a même un langage informatique utilitaire qui s'appelle STRESS, que l'on emploie pour résoudre les problèmes d'ingénierie de charpente.

L'ingénieur, lui, entend par «stress» (tension) la force par unité de surface exercée entre deux corps ou parties contigus et la mesure en newtons par mètre carré.

Quand on parle de «stress» (tension), il s'agit toujours d'une pression ou d'une force qui entraîne un changement ou un réajustement de l'objet ou de la personne qui le subit.

Stress exercé sur les personnes et sur la société

Le mot stress est un terme couramment utilisé, notamment dans les sociétés urbaines industrialisées. Le rythme de la vie s'est accéléré rapidement au cours de la dernière décennie; nous courons constamment pour nous rendre ici ou là, pour terminer un travail ou accomplir une tâche plus rapidement qu'auparavant. L'impatience des gens saute aux yeux quand on les voit faire la queue dans les banques, devant les salles de spectacle, aux arrêts d'autobus, dans le métro, au restaurant et à l'épicerie. L'esprit de compétition qui règne dans tous les domaines - depuis le sport et l'enseignement jusqu'aux emplois et au statut social - exerce un stress sur les êtres humains. La société est également sous tension ou sous pression: il faut produire davantage, plus vite et en utilisant moins d'énergie. Notre société technologique subit une expansion rapide; elle est en pleine mutation et au nom du progrès elle met au point des techniques toujours nouvelles et meilleures. Pourtant, le progrès conduit au stress. Les nations entrent en concurrence économique les unes avec les autres et nos ressources sont obérées par l'industrialisation. Les nouvelles technologies mises au point pour accroître la productivité réduisent les besoins en main-d'oeuvre pendant que le chiffre de la population mondiale continue d'augmenter et que nos besoins en ressources finies s'accroissent. Ces problèmes ne sont pas nouveaux: «Il y a toujours eu de sombres prédictions depuis que Robert Malthus a publié son classique essai sur le principe de population en 1798. La thèse fondamentale de Malthus veut que la population humaine tende à s'accroître plus rapidement que les moyens de subsistance, et que le surplus d'êtres humains finira par disparaître sous l'effet de la famine, des maladies ou de la violence» (American Association of School Administrators, 1964).

Stress exercé sur les ressources de la Terre

Selon Lester Brown, président du Worldwatch Institute:

> *«La croissance démographique mondiale et l'augmentation de la demande en produits ... commencent à excéder nos capacités. Il en résulte la surpêche, le déboisement, le surpâturage et l'érosion du sol ... Un jour, ce stress subi par l'environnement se traduira économiquement par l'inflation ou, peut-être, physiologiquement, par la malnutrition»* (Anonyme, 1979).

Le rapport Global 2000 remis au Président des États-Unis affirme dans ses conclusions ce qui suit:

> *«Si les tendances actuelles persistent, en l'an 2000 la planète sera surpeuplée, plus*

polluée, moins stable écologiquement et plus vulnérable aux perturbations qu'elle ne l'est aujourd'hui. On peut déjà prévoir de graves perturbations des populations, des ressources et de l'environnement. Malgré l'accroissement de la production matérielle, les gens seront dans bien des cas plus pauvres qu'aujourd'hui» (United States Council on Environmental Quality et Department of State, 1980).

«L'économie mixte des pays d'Amérique du Nord s'est développée dans un climat d'abondance, avec l'idée que les ressources étaient inépuisables. La croissance effrénée et les progrès technologiques basés sur ces ressources ont longtemps été la pierre angulaire de notre système économique. Les gens ont été habitués à s'attendre à ce que les ressources soient de plus en plus grandes ou que des ressources différentes soient toujours disponibles pour assurer une croissance économique illimitée. Le gaspillage, la spoliation et la consommation accélérée sont les conséquences fâcheuses de cette attitude voulant que les ressources soient illimitées» (Soil Conservation Society of America, 1980).

De tous temps, les spécialistes en environnement ont exprimé dans leurs écrits sur la pollution la préoccupation que leur cause le stress exercé sur les ressources. D'innombrables recherches en la matière ont été effectuées par des experts, et la place que les médias ont accordé aux problèmes de la pollution dans les années 1960 et 1970 a permis au public et aux gouvernements d'en prendre davantage conscience. Divers groupes écologiques se sont formés et ont fait part du souci causé par la dégradation de l'environnement; les gouvernements ont répondu à leurs demandes par des études visant à identifier et à analyser les diverses sources de pollution. La plupart des écrits sur le sujet portent sur deux types de pollution: celle de l'air et celle de l'eau. Les recherches sur la pollution atmosphérique causée par les émissions des industries et des automobiles ont amené la mise en application de mesures de lutte dans ce domaine. Les recherches sur le second type de pollution, celle des eaux, ont conduit à l'adoption de lois obligeant les industries à traiter leurs eaux usées avant de les rejeter dans les cours d'eau. Une prise de conscience accrue, de la part du public, de pollution de l'air et de l'eau a fait de ces problèmes les grandes questions écologiques de l'heure. Il existe cependant un troisième type de pollution, la pollution des terres, qui perturbe également une ressource importante, mais est rarement mentionnée dans les études sur la qualité du milieu. Certes, on y effleure la question de la dégradation des sols, mais, en fin de compte, peu de choses ont été écrites sur la pollution qui résulte des divers stress exercés sur les ressources en terres.

Notion de stress exercé sur les terres

L'expression «ressources en terres» recouvre beaucoup plus que ce que l'on entend par le mot «sol». Comme ces ressources possèdent de multiples caractéristiques, la notion de stress des terres recouvre une grande diversité d'effets néfastes, qui peuvent perturber autant l'utilisation des terres que leur valeur ou leur capacité. La dégradation des terres peut être due à des causes naturelles ou à des causes humaines. Les éruptions volcaniques, comme celle de Mount St. Helens, qui projettent dans l'atmosphère des tonnes de particules et de gaz chargés d'acide et répandent de la lave et des cendres dans le milieu environnant, entraînent une dégradation naturelle des terres. Les traces laissées par de tels phénomènes sur le paysage en évolution persistent pendant de nombreuses années. Les feux de forêts provoqués par la combustion spontanée ou par la foudre, les suintements d'hydrocarbures, les glissements de terrain, les tornades et les ouragans sont autant d'exemples de phénomènes naturels qui agressent le milieu et sur lesquels l'homme n'a aucune maîtrise.

Cette publication ne porte toutefois que sur le stress anthropique. Elle introduit la notion de stress exercé sur les terres et insiste sur son importance en matière d'études environnementales. **Le stress exercé sur les terres** est défini comme l'affaiblissement graduel des ressources en terres provoqué par les activités de l'homme, phénomène qui entraîne une diminution de l'utilisation, de la valeur ou du potentiel des terres.

Toute activité humaine a des répercussions sur les terres, mais ces répercussions varient en intensité et en gravité. Certaines activités, telles l'extraction minière, ont des effets à long terme sur les terres tandis que d'autres, telles les déversements d'hydrocarbures, ont des impacts à relativement court terme selon leur gravité ou leur étendue. Les conséquences de ces phénomènes diffèrent également en fonction des méthodes de nettoyage, des opérations de remise en état, des méthodes de gestion et du pouvoir qu'ont les terres de s'adapter aux changements, avec le temps. C'est là qu'entre en jeu la notion de stress: la terre peut en effet finir par s'adapter au stress qu'elle subit et la période d'adaptation varie selon la nature et l'intensité des pressions qui sont exercées sur elle. Certains effets peuvent ne pas apparaître évidents pendant une génération, et se manifester plus tard. Un des aspects de la question qui est rarement envisagé est celui des effets cumulatifs qu'ont certaines activités, effets qui peuvent se révéler désastreux avec le temps.

La portée que les gens et les sociétés accordent au stress des terres est un élément important mais très variable, car certaines activités ont des répercussions qui se font sentir à l'échelle locale, régionale ou nationale et qui diffèrent par leur ampleur. Les définitions varient également selon le temps et le lieu. Chaque individu a une idée personnelle de ce qu'est la terre, de la façon dont elle devrait être utilisée et de ce qui constitue une activité perturbante ou non. Les médias poussent souvent les gens à considérer certains faits spécifiques, souvent à tort, comme d'importantes menaces ou de graves sources de pollution. Nous traitons, dans la présente publication, d'activités et d'événements que l'on qualifie d'agressants mais qui, en fait, ont des impacts très variés. Il importe de souligner qu'une activité perturbante peut avoir des effets d'intensité variée que de saines méthodes de gestion permettent souvent de réduire ou de modifier. En analysant sept cas de perturbation ou de contrainte importante des terres dans les chapitres suivants, nous espérons soulever un certain intérêt pour la notion de stress des terres.

GRILLE D'ANALYSE

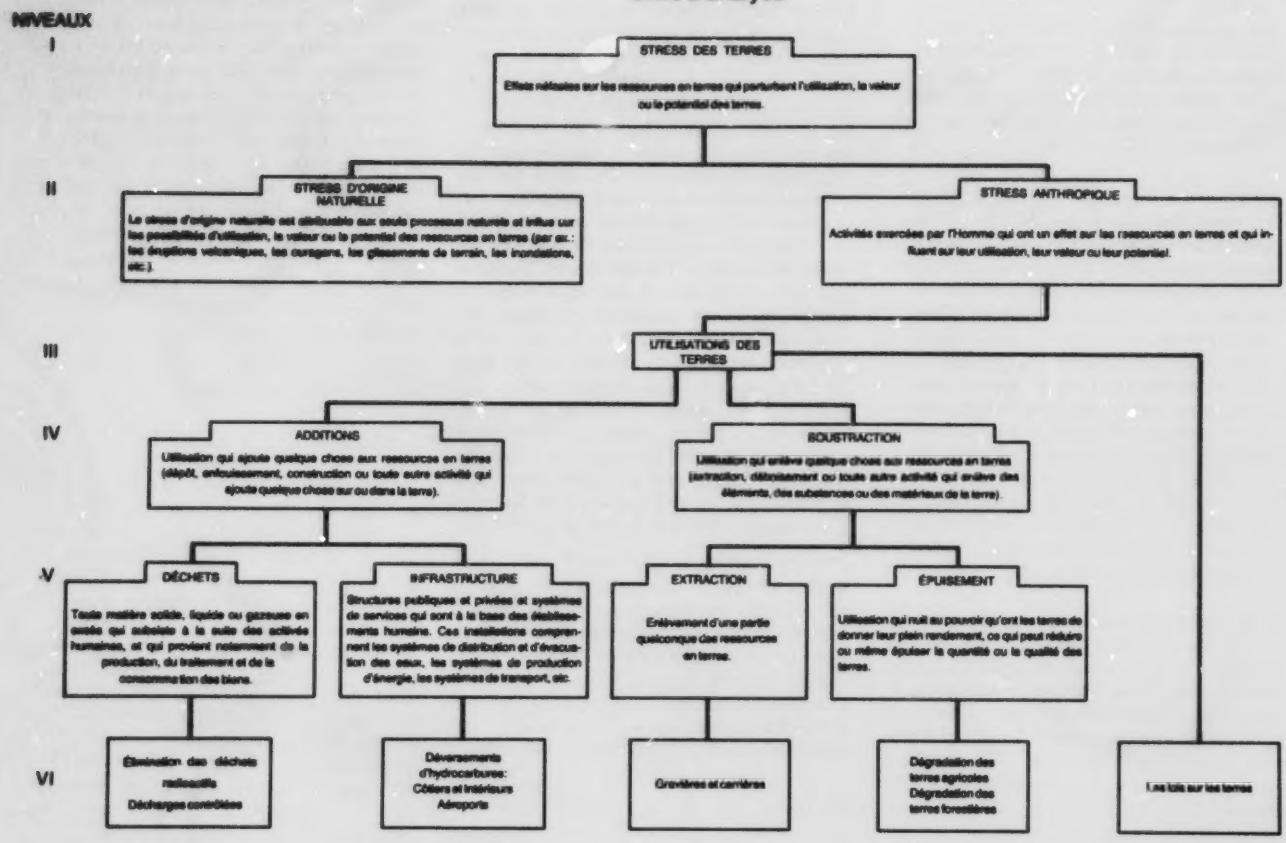
Le diagramme présenté à la figure 1 a été conçu de façon à aborder de façon systématique le concept de stress des terres. C'est une grille simple, mais exhaustive, qui permet d'englober toute une gamme de facteurs éventuels. Dans ce chapitre, nous décrivons cette grille d'analyse et nous donnons les raisons qui nous ont poussés à inclure certains sujets dans cette publication.

Pour comprendre notre point de vue, il faut d'abord examiner la définition de stress des terres. Disons tout d'abord qu'il y a deux types de stress (niveau II). Le stress d'origine naturelle est causé par des phénomènes qui surviennent dans les divers systèmes naturels de la Terre. Bien que ces perturbations puissent sembler catastrophiques à l'échelle humaine, elles ne s'en inscrivent pas moins dans l'évolution et le changement perpétuel des systèmes naturels, systèmes sur lesquels l'homme a peut-être une influence, mais qu'il ne peut certes pas maîtriser. L'autre type de stress est attribuable à l'activité de l'Homme, dans la mesure où celle-ci influe sur les ressources en terres, leur utilisation, leur valeur ou leur potentiel. L'Homme a le pouvoir de diriger ses activités et également celui de limiter le stress qu'elles provoquent. Cette publication ne porte que sur ce dernier type de stress des terres.

Donc, en quoi les activités humaines touchent-elles les ressources en terres? Simplement par les diverses pratiques d'utilisation dont elles sont l'objet. Presque tous nos actes se rapportent, directement ou indirectement, à un type quelconque d'utilisation des terres (niveau III). Il importe de reconnaître qu'une seule activité à un endroit donné peut avoir un impact majeur ou mineur. En outre, l'accumulation d'activités peut décupler les répercussions de chacune d'elles, et les amplifier au point d'entraîner une interaction avec d'autres activités.

FIGURE 1.

Grille d'analyse



Nous avons adopté une méthode inductive simple pour classer toutes les utilisations des terres. En gros, toute utilisation foncière peut ajouter ou soustraire quelque chose à la terre. Les activités additives sont celles par lesquelles l'Homme ajoute quelque chose aux ressources en terres (enfouissement dans la terre, construction d'ouvrages sur la terre, etc.). Les activités soustractives sont celles par lesquelles l'Homme extrait quelque chose des ressources foncières, (extraction de minéraux, déboisement, etc.) (niveau IV).

Ces deux types d'utilisation (addition et soustraction) se divisent à leur tour en deux sous-catégories qui permettent de classer plus précisément les utilisations des terres (niveau V). Les utilisations qui ajoutent quelque chose aux ressources en terres peuvent être groupées en deux classes: déchets ou infrastructure. Qu'entend-on par ces deux termes? Les déchets sont définis comme étant toute matière solide, liquide ou gazeuse résiduelle produite par des activités humaines et qui provient notamment de la production, du traitement et de la consommation de biens. Les infrastructures comprennent les bâtiments publics et privés ainsi que les services publics dont les collectivités humaines ont besoin. Ces installations comprennent les systèmes de distribution et d'évacuation des eaux, les systèmes de production d'énergie, les systèmes de transport, etc. Autrement dit, les activités additives sont celles qui comportent la construction d'ouvrages sur les terres ou l'utilisation des terres pour l'enfouissement des rebuts.

Les utilisations soustractives peuvent être elles aussi divisées en deux catégories: extraction et épuisement. Les activités extractives sont celles qui suppriment une partie quelconque des ressources en terres. L'épuisement comprend les activités qui nuisent à la capacité qu'ont les terres de donner leur plein rendement, ce qui réduit la quantité ou la qualité des ressources. Autrement dit, les activités soustractives enlèvent d'importants éléments contenus dans les terres ou dégradent leur potentiel de production.

Chacune de ces quatre dernières catégories peut inclure une liste presque infinie d'activités. Les activités énumérées au niveau VI de la figure 1 sont celles qui sont analysées dans la présente publication. De toute évidence, il ne s'agit là que d'un infime échantillon des nombreuses utilisations qui peuvent entrer dans chaque catégorie.

QUEL EST L'OBJET DE NOTRE PUBLICATION?

Les sujets abordés dans chacun des chapitres de ce rapport ont été choisis en raison de leur actualité et pour diverses raisons d'ordre opérationnel. Toutes les catégories du niveau V (figure 1) devaient être traitées dans ce volume afin d'illustrer la gamme complète des divers types de dégradation possible. Ensemble, ces diverses formes de dégradation peuvent modifier l'utilité des ressources en terres pour les générations futures. Il est du plus haut intérêt de voir quelles sont les répercussions des activités humaines sur les ressources en terres et de tenter de mettre au point des méthodes de gestion appropriées afin de sauvegarder ces res-

sources vitales. Il serait trop long d'expliquer ici pourquoi certains sujets n'ont pas été abordés; il ne s'agit que de présenter un nouveau concept et d'en expliquer le fonctionnement à partir d'un certain nombre d'exemples choisis. Il est toutefois important de justifier les motifs qui ont dicté notre choix.

Élimination des déchets radioactifs

Le seul mot «radioactif» suscite bien des idées préconçues, mais il faut pourtant bien admettre que les éléments radioactifs se trouvent à l'état naturel dans le milieu et que ce n'est pas avant d'avoir été concentrés qu'ils nécessitent un traitement spécial. Les déchets radioactifs ne représentent qu'un seul des nombreux types de déchets dangereux que nous avons à traiter aujourd'hui au Canada. Comme ces déchets soulèvent souvent des controverses, il est capital d'en déterminer objectivement l'origine et la destination probable. Comme les terres sont souvent choisies comme lieux de stockage ou d'élimination, il est tout aussi capital d'analyser la gamme possible des stress associés à l'élimination de ces déchets. Le degré et l'ampleur de ce stress n'ont jusqu'à maintenant fait l'objet d'aucun rapport non technique.

Dans le chapitre intitulé «Les incidences sur les terres associées à l'élimination des déchets radioactifs», nous analysons les effets qu'a sur les terres l'élimination de trois types importants de déchets radioactifs produits par le cycle du combustible nucléaire: les déchets faiblement radioactifs, les déchets fortement radioactifs et les résidus des mines et des usines de concentré d'uranium. Pour mieux illustrer notre propos, l'étude du cas d'Elliot Lake, la plus importante région productrice d'uranium du Canada, a été incorporée au chapitre.

Ce chapitre fait également le point, à l'échelle nationale, sur l'origine et la destination des déchets radioactifs au Canada. Il examine toute une gamme d'impacts sur les ressources en terres, notamment l'impact sur la productivité, l'utilisation, la valeur et la remise en état des terres, ainsi que les effets à court et à long terme des méthodes d'élimination actuelles ou prévues.

Décharges contrôlées

Tous les Canadiens contribuent au volume total d'ordures produit chaque jour à l'échelle nationale, mais pour la majorité d'entre eux, ces ordures disparaissent comme par magie une fois les éboueurs passés. Ces déchets doivent pourtant être éliminés d'une façon ou d'une autre; au Canada, l'une des méthodes les plus saines écologiquement consiste à éliminer ces ordures dans des décharges contrôlées. Ces décharges occupent des terrains qui doivent être facilement accessibles à partir des centres peuplés, pour réduire le plus possible les coûts de transport. Par contre, personne ne veut avoir de décharge contrôlée derrière chez soi. En effet - et c'est regrettable - le public a souvent l'impression que ces décharges constituent une utilisation foncière indésirable parce qu'il les associe faussement à des dépotoirs.

Dans le chapitre intitulé «Décharges contrôlées et incidences environnementales», nous définissons ce qu'est une décharge contrôlée, nous expliquons en quoi ces décharges diffèrent des autres types d'emplacement d'élimination des déchets et nous décrivons les techniques de surface, en tranchée et en talus qui y sont utilisées. Une décharge contrôlée est une utilisation temporaire du sol; lorsqu'elle a atteint sa capacité maximale, le terrain peut être réaménagé et utilisé à d'autres fins.

À la fin des années 1950, la première décharge contrôlée a été créée à Toronto. Aujourd'hui, on trouve de telles décharges dans toutes les provinces et leurs dimensions varient de 0,2 ha à 163 ha. Le chapitre que nous consacrons à ce sujet constitue une enquête nationale exhaustive sur la gamme des stress que subissent les terres à cause d'une telle utilisation. Nous avons étudié des décharges contrôlées en divers endroits au pays afin de voir comment on choisit leur emplacement, comment elles sont exploitées et comment le terrain est réaménagé par la suite. Les chapitres sur le stress font état des préoccupations relatives à l'utilisation des terrains adjacents, à la valeur des terres, à la modification du paysage, à l'opinion du public et aux facteurs esthétiques. Les considérations d'ordre physique et les étapes de l'aménagement d'une décharge contrôlée sont également étudiées. Deux grandes préoccupations écologiques - la contamination par le percolat et la génération de méthane - sont prises en compte, et on y décrit les méthodes d'ingénierie qui sont le plus souvent utilisées pour faire face à ces problèmes.

Pendant les étapes de l'aménagement, de l'exploitation proprement dite et de la remise en état, les décharges contrôlées influent de diverses façons sur les utilisations des terres. La nature et l'ampleur des incidences varient suivant leur emplacement et selon que l'installation est en exploitation ou est fermée. Il y a également différentes incidences sur le site lui-même et sur la région avoisinante. De la même façon que le choix de l'emplacement d'une nouvelle installation d'élimination est influencé par les utilisations foncières existantes, une nouvelle installation a certaines incidences sur les utilisations présentes et futures des terres environnantes.

Pour illustrer la gamme des incidences, nous donnons les résultats de trois études de cas. La première porte sur le projet entrepris à Winnipeg en vue d'établir un parc régional et une décharge contrôlée dans la même région. La deuxième porte sur Keele Valley et illustre le processus d'approbation et les questions techniques qui doivent être réglées avant qu'un site éventuel de décharge contrôlée puisse passer à la phase d'exploitation. Le troisième exemple illustre la controverse publique soulevée par le choix d'un emplacement pour une décharge contrôlée dans l'est du Canada.

Afin que la situation au Canada soit entièrement illustrée, une section spéciale traite des préoccupations en matière de gestion des déchets dans le nord du Canada. Dans ces régions, il est impossible d'aménager des décharges contrôlées à cause des contraintes naturelles; les autres méthodes d'élimination des déchets utilisées dans le Nord y sont donc examinées.

Déversements d'hydrocarbures: côtiers et intérieurs

Les déversements d'hydrocarbures sont des événements qui reçoivent une grande publicité et qui peuvent se produire au cours d'une des nombreuses étapes de l'exploration, de l'extraction, de la production, du transport, de la mise sur le marché ou du stockage des hydrocarbures.

> *«Au cours des dernières années, un certain nombre d'accidents dus à des pétroliers, des réservoirs d'hydrocarbures et des pipelines ont été à l'origine de l'introduction de quantités relativement importantes d'hydrocarbures dans l'environnement. Les incidents de ce type, alliés au fait que l'utilisation et le transport des produits pétroliers dans le monde ne cessent de croître, ont rendu presque tout le monde conscient des risques et des dommages associés aux déversements d'hydrocarbures. Il n'en reste pas moins que la consommation de grandes quantités d'hydrocarbures est une des nécessités de notre société industrielle moderne»* (Fingas, *et al.*, 1979).

Les déversements d'hydrocarbures sont des phénomènes importants et leurs répercussions sur l'environnement continueront à se faire sentir au cours des années à venir, étant donné que nous continuons à consommer des hydrocarbures et des produits pétroliers et à prospecter au large des côtes de l'Est et du Nord. Le mode de transport choisi pour acheminer les hydrocarbures vers le consommateur influe sur les possibilités de déversements. Que le pétrole soit transporté par pétroliers ou par pipelines, plus il y en a à transporter, plus les probabilités d'un déversement et les possibilités d'incidences sur l'environnement s'accroissent.

Les déversements diffèrent les uns des autres selon le type et le volume d'hydrocarbures en cause. Suivant l'emplacement du déversement,

les hydrocarbures perturbent les milieux naturels et les gens à des degrés divers. Dans cette publication, nous analysons les incidences des déversements en fonction de deux types d'emplacements: les déversements côtiers et les déversements à l'intérieur des terres. Les premiers attirent davantage l'attention des médias que les seconds, mais tous deux ont des répercussions sur les ressources en terres.

Les déversements sur les côtes sont habituellement dus à des accidents maritimes, à des éruptions, aux vidanges de cales, à des incidents survenant lors de transferts ou à des déversements terrestres qui atteignent la zone littorale.

Les déversements d'hydrocarbures qui surviennent dans la zone littorale imposent un stress non seulement au milieu naturel, mais également aux diverses activités (pêche, loisirs, habitation, etc.) qui s'y déroulent. Ce qui frappe le plus le public quand il y a des déversements d'hydrocarbures, c'est qu'ils défigurent le milieu côtier. Mais les déversements peuvent nuire aussi aux organismes vivants, à la flore et à la faune, entraînant en cela de graves répercussions pour l'écosystème côtier. Le Canada n'a connu que très peu de marées noires; dans la plupart des cas, le volume d'hydrocarbures déversés est relativement faible. Le plus gros déversement côtier qui ait eu lieu au Canada est survenu en 1970 lors de l'accident du pétrolier ARROW, qui a déversé 9 000 t de fuel lourd C dans la baie Chédabouctou en Nouvelle-Écosse. Toutefois, il est impossible de déterminer le degré de stress qui peut être associé à un déversement. En effet, le stress est plus grand quand la configuration des lieux retient les hydrocarbures et dans les régions à forte productivité biologique, comme les marais ou les estuaires. Les méthodes de nettoyage employées à l'occasion de la plupart des déversements ont également des répercussions sur l'environnement. Le temps de récupération de chaque milieu perturbé par un déversement diffère également, mais il est rare que l'état de gravité reste très longtemps critique.

Les déversements d'hydrocarbures sur terre, contrairement aux déversements côtiers, perturbent le milieu terrestre là où les hydrocarbures entrent en contact avec le sol et la végétation de surface. Ces déversements ont lieu pendant le transport des hydrocarbures par camion, par train, par avion et par pipeline, ainsi que pendant les phases d'exploration, de production, de mise sur le marché et de stockage des hydrocarbures. L'impact de ces déversements sur terre dépend des caractéristiques physiques du sol, du volume d'hydrocarbures en jeu, de la durée du déversement et de la saison pendant laquelle il survient, du type d'hydrocarbures déversé, des méthodes de remise en état du terrain, etc.

Les déversements à partir de pipelines sont beaucoup plus difficiles à endiguer que les déversements de produits raffinés dans les installations de stockage, où ils sont davantage localisés. Les pipelines, au contraire, traversent de grandes étendues, déversent surtout du pétrole brut et perturbent une plus vaste superficie de terrain.

L'ampleur des répercussions des déversements d'hydrocarbures sur les utilisations des terres est en partie fonction de la persistance des hydrocarbures dans le sol. La première étape de l'élimination des hydrocarbures qui se trouvent dans le sol est habituellement biologique. Par conséquent, les facteurs qui influent sur l'activité biologique jouent également un rôle dans l'importance des répercussions du déversement sur les utilisations des terres. Les effets des déversements sur la végétation peuvent ne durer qu'une seule saison, dans le cas d'un faible déversement, ou plusieurs décennies, lorsque tout un système forestier a été détruit. Les déversements survenant dans les terres agricoles ou dans les forêts peuvent réduire ou annihiler la production de certains types de culture pendant des mois ou des décennies si le terrain n'est pas bien remis en état. Par contre, lorsque le terrain est remis en état, son potentiel n'est pas perturbé à long terme. En fait, les hydrocarbures sont biodégradables à divers degrés et, dans certains cas, ils peuvent même améliorer la productivité du sol.

Le stress que provoquent les déversements d'hydrocarbures sur terre affecte tout spécialement la faune, qui perd ainsi son habitat. Le chapitre sur les déversements à l'intérieur des terres traite des répercussions des déversements d'hydrocarbures sur l'agriculture, les forêts et les milieux arctiques. Il est à noter que l'étendue de terre perturbée par un déversement d'hydrocarbures est rarement relevée, et qu'on signale seulement le volume de matières déversées. À mesure que les recherches progresseront dans le domaine de la lutte contre les déversements et de la remise en état des terrains, les répercussions à long terme des déversements iront en diminuant.

Aéroports

Depuis 1909, année où, à Baddeck, en Nouvelle-Écosse, a eu lieu le premier vol d'un véhicule plus lourd que l'air, le transport aérien a eu une influence considérable sur nos vies. Les premiers aéroports construits et exploités au Canada n'ont eu qu'un impact minime sur le milieu. Ces aéroports étaient peu nombreux, de faibles dimensions et situés loin des grands centres peuplés, et nombre d'entre eux ne jouaient qu'un rôle militaire. Ils n'entraient pas non plus vraiment en conflit avec les autres utilisations des terres.

Toutefois, le transport par avion et l'urbanisation ont tous deux connu une croissance rapide. L'aéronautique a rapidement progressé; la construction de gros appareils a nécessité de plus longues pistes et davantage d'espace. En même temps, la croissance démographique naturelle, l'immigration et l'exode rural ont entraîné une expansion des villes, qui se sont étendues jusque dans les zones rurales. De nombreux aéroports, comme celui de Toronto, qui étaient autrefois en région rurale agricole, se sont retrouvés entourés par de nouveaux quartiers urbains. De graves conflits sont ainsi nés, et les projets d'aéroport, tels celui de Pickering, sont devenus de brûlants sujets de controverse.

Quel genre de stress un aéroport occasionne-t-il aux terres? Pendant les phases d'arpentage et de construction, plusieurs modifications sont apportées à l'emplacement même de l'aéroport: la végétation et la couche arable sont enlevées, les caractéristiques physiques et esthétiques du paysage sont modifiées, les écosystèmes et les habitats sont détruits. Les utilisations antérieures des terres, souvent des exploitations agricoles, sont perturbées, entraînant une perte de terres agricoles de qualité supérieure situées à proximité des marchés urbains. Une fois en phase opérationnelle, les aéroports peuvent ajouter divers polluants au sol, à l'air et à l'eau. Le bruit et les fluctuations de la valeur des propriétés font également partie des répercussions de la présence et de l'expansion d'un aéroport dans une région.

L'impact de ces aménagements sur les terres et sur les gens va bien au-delà des limites mêmes de l'aéroport. En effet, la présence d'un aéroport favorise et accélère le développement dans toute la région tombant sous sa sphère d'influence, région qui peut être très étendue. Les aéroports attirent toute une gamme de services associés au transport par avion; la disponibilité de nombreux terrains de banlieue relativement peu coûteux et le bassin de main-d'oeuvre situé à proximité sont à l'origine de tout un développement secondaire. Ce genre d'utilisation des terres nécessite de vastes superficies et de plus en plus de terres rurales agricoles sont transformées en terrains commerciaux et industriels. Les demandes en réseaux routiers améliorés, en aménagements résidentiels pratiques et en services de vente au détail, d'éducation et de loisirs augmentent en conséquence.

Bien que certaines entreprises bénéficient de la présence d'un aéroport, d'autres utilisations s'en accommodent moins bien. Des restrictions doivent être imposées en matière d'utilisation des terres dans le voisinage des aéroports afin d'assurer la sécurité du transport et de réduire les conflits que font naître les problèmes de santé et les nuisances provoquées par le bruit et l'exploitation même de l'aéroport. Comme l'expansion des réseaux de transport aérien a précédé de beaucoup la mise au point de méthodes avancées d'aménagement du territoire, les aéroports et de nombreuses autres utilisations des terres font des mécontents parmi leurs voisins. Le bruit que font les avions peut notam-

ment entraîner une dévaluation des propriétés, surtout dans les secteurs résidentiels.

Pendant des années, la planification des grands projets de transport se faisait sans que le public soit vraiment invité à y participer. La prise de conscience qu'a provoqué chez le public le problème de la pollution atmosphérique et du bruit, de la perte de terres agricoles de première qualité et de l'absence de consultation, parallèlement à la montée du mouvement «écologique», fait qu'à l'heure actuelle, les projets d'aménagement d'aéroport soulèvent d'âpres controverses.

Les aéroports ne sont qu'un élément d'un réseau de transport vaste et complexe qui ne constitue lui-même qu'une partie de l'infrastructure de la société actuelle. Comme d'autres éléments de cette infrastructure, les aéroports fournissent des services indispensables. Du fait qu'ils concernent autant les gouvernements fédéral, provinciaux et locaux que le public en général, les aéroports sont un bon exemple du stress qu'un environnement construit fait subir aux gens et à la terre, tant dans ses limites mêmes qu'en dehors d'elles.

Gravières et carrières

Les agrégats (sable, gravier et pierre concassée) sont les matériaux nécessaires pour construire immeubles et routes ainsi que tout projet d'importance, tel que pipeline, aéroport et centrale électrique. Au Canada, la consommation ou les besoins annuels en matériaux de construction est de 13 tonnes par habitant. Du fait du développement, de l'urbanisation et de l'exploitation des ressources depuis la guerre, la superficie des terres perturbées ou abandonnées après l'extraction d'agrégats de construction au Canada est au moins égale, sinon supérieure, à la superficie des terres perturbées par toutes les autres formes d'extraction minière. Ainsi, une enquête effectuée dans le sud de l'Ontario a révélé que les gravières et les carrières représentaient 93 pour cent de tous les cas de terres détruites et 75 pour cent de leur superficie.

À l'origine, les répercussions de l'exploitation de gravières et de carrières au Canada se limitaient habituellement au voisinage des grands chantiers de construction. À la fin du XIX^{e} et au début du XX^{e} siècle, les traces laissées par les activités d'extraction d'agrégats se sont répandues autour des villes naissantes. La croissance était alors jugée souhaitable, et il fallait du sable et du gravier pour construire les infrastructures nécessaires. Étant donné que les agrégats sont encombrants et de faible valeur, ils sont coûteux à transporter. Il y a donc avantage à ce que les sites d'extraction se trouvent à proximité des gros marchés urbains, mais ils entrent alors en concurrence avec d'autres utilisations moins dommageables. Aujourd'hui, les innombrables gravières et carrières au Canada se trouvent souvent à l'intérieur ou à proximité de secteurs urbains ou dans les banlieues très peuplées. Il n'est pas rare que ces terrains offensent la vue, menacent la sécurité publique et épuisent les ressources en terres.

Les sites d'extraction varient, en superficie, de 1 ha à 600 ha. Certaines exploitations commerciales peuvent se poursuivre pendant 20 à 50 ans; la nature «provisoire» et le caractère stressant de cette activité sont donc importants. Les effets cumulatifs de la juxtaposition de ces sites et des autres utilisations foncières juxtaposées sont considérables. Ce que l'on sait des gravières et des carrières ne parle guère en leur faveur: mauvaise planification, gaspillage de la couche arable, prise en compte insuffisante des futures utilisations des terres et absence totale ou partielle de remise en état des terrains.

L'aménagement des gravières et des carrières, quels qu'en soient l'étendue ou l'emplacement, commence en général par l'enlèvement de toute la végétation de surface, de la couche arable et des morts-terrains, avec toutes les perturbations des écosystèmes et des paysages que cela entraîne. L'extraction des agrégats qui se trouvent sous la surface amène normalement une modification complète de la ressource en surface: la terre. Qui plus est, comme une grande partie des terres agricoles de première qualité situées à proximité des grands centres du Canada recouvrent des couches de sable et de gravier de qualité supérieure, il arrive souvent que ces terres soient sacrifiées à l'extraction d'agrégats, plus rentable; jusqu'à tout récemment, les terres ainsi dévastées sont ensuite demeurées impropres à l'agriculture ou à toute autre utilisation. L'existence d'agrégats de qualité supérieure peut ainsi menacer l'existence de précieuses terres récréatives, fauniques, résidentielles, agricoles ou autres.

Non seulement les gravières et les carrières stressent le sol, mais elles ont aussi d'autres répercussions secondaires importantes, ne serait-ce que par le fait qu'elles défigurent le paysage. Pour les gens qui vivent à proximité des sites d'extraction ou le long des routes de transport, la circulation des camions, le bruit, la poussière, les dangers du point de vue de la sécurité et les frais d'entretien des routes sont sources de problèmes considérables. Comme dans le cas de nombreuses autres utilisations perturbatrices, les gens sont très préoccupés par la dévaluation des propriétés, la diminution de la qualité de la vie et la dégradation de l'environnement.

Par contre, l'expansion urbaine accélérée observée par le passé avait déjà stérilisé beaucoup de terres rurales avant que l'on y en ait extrait des agrégats. Les conflits entre les diverses utilisations, combinés à l'indignation croissante du public devant ces agressions exercées sur les terres et l'absence d'une législation appropriée, sont à l'origine de certaines améliorations apportées récemment à la situation. Grâce à une législation plus efficace et plus sévère, à une meilleure planification, à une exploitation plus rationnelle, à la surveillance plus rigoureuse des opérations, à la remise en état progressive des terrains et à l'adoption d'un mode d'utilisation axé sur la pluralité des ressources, d'importants progrès ont été accomplis. Le sable et le gravier, matériaux précieux, ne sont plus consacrés à la prolifération désordonnée de constructions urbaines et les terres dont on a extrait des agrégats peuvent être remises en état pour être réutilisées à d'autres fins par la suite. Il reste cependant à prouver qu'il est possible d'appliquer de bons principes.

Dégradation des terres agricoles

Au Nouveau-Brunswick, jusqu'à 12 cm de couche arable ont été enlevés dans les champs de pommes de terre au cours des vingt dernières années. En Saskatchewan, le rendement des cultures a parfois chuté de 70 pour cent sur certaines terres érodées par le vent. On estime qu'en Ontario, 1,3 million de tonnes de couche arable sont enlevées des terres agricoles chaque année. En grande partie, ce stress exercé sur les terres consacrées aux cultures intensives est attribuable à une mauvaise gestion des terres. En effet, on exploite certaines terres agricoles productives et très précieuses dans le but d'en tirer un profit à court terme, sans se préoccuper suffisamment de leur conservation à long terme.

La perte de matériaux du sol par suite de l'érosion constitue un sérieux problème. L'enlèvement de la couche protectrice de graminées indigènes, de plantes et d'arbres rend le sol plus vulnérable à l'érosion par le vent et par l'eau. Il en résulte une perte des constituants les plus précieux, un amincissement de la couche arable, une baisse du pouvoir de rétention de l'eau, une croissance inégale des cultures et un envasement des réseaux de drainage superficiels. L'érosion du sol est particulièrement prononcée là où l'on pratique des jachères d'été, où l'on augmente la taille des champs, où l'on enlève les brise-vent et où l'on pratique une monoculture commerciale intensive du maïs et de la pomme de terre. Des mesures - telles la culture suivant les courbes de niveau, la culture en terrasses, la rotation des cultures et la culture sans labours - qui peuvent aider à réduire l'affaissement des sols, sont peu attrayantes pour les agriculteurs qui doivent contrôler leurs coûts en fonction des prix.

Les sols organiques se forment lentement; le processus peut être renversé si l'état du sol est modifié par le drainage et la culture. C'est seulement dans quelques régions que les sols organiques conviennent à l'agriculture, et ils sont alors généralement utilisés pour la culture de produits à valeur élevée, tels les légumes de consommation courante. Toutefois, le drainage de ces sols a entraîné leur affaissement, leur rétrécissement et leur tassement. Si aucune mesure

n'est prise pour améliorer la situation, certains sols organiques atteindront un état d'épuisement tel qu'ils deviendront impropres à la culture des légumes et seront probablement consacrés à la culture de plein champ. Quel prix devrons-nous payer pour obtenir de nouveau des fruits et des légumes? Sera-t-il possible de trouver de nouvelles terres qui se prêtent à ce genre de culture? Ces terres nécessiteront-elles qu'on leur consacre davantage d'énergie, de temps et d'argent?

Bien qu'il y ait une détérioration chimique naturelle des terres, la salinisation, l'acidification et la contamination des sols se sont accrues considérablement par suite des activités humaines. Dans les régions arides, l'enlèvement des graminées indigènes, leur remplacement par les cultures de céréales, la pratique des jachères d'été et l'irrigation ont accru encore la salinisation. L'épandage de plus en plus généralisé de fertilisants à l'azote à base d'ammoniac et les précipitations acides ont contribué à l'acidification des sols, phénomène qui peut avoir des effets néfastes sur la productivité et les cultures. La contamination des sols attribuable aux retombées atmosphériques, aux eaux d'égout, aux boues industrielles ainsi qu'aux pesticides non encore biodégradés risque toujours d'entraîner des problèmes à long terme.

Enfin, la tendance soutenue à la spécialisation de l'agriculture, l'accroissement des pressions exercées sur les agriculteurs pour améliorer leur productivité tout en maintenant leurs dépenses au minimum et la conversion des terres agricoles de première qualité à des utilisations urbaines entraînent une diminution de la qualité des terres agricoles. Le tassement des sols attribuable à l'utilisation répétée de machines lourdes nuit à la croissance des racines et contribue à la formation d'étangs en surface, au ruissellement et à l'érosion des sols. Les exploitations à ciel ouvert, l'extraction des agrégats, la pose de pipelines ou la construction de routes perturbent souvent les sols. Malgré tous les soins apportés, les perturbations peuvent abaisser fortement la productivité de la terre pendant de nombreuses années, phénomène malheureusement très courant sur les terres agricoles de première qualité.

La perte et la détérioration des terres agricoles ne sont pas un problème nouveau. De nombreuses civilisations ont prospéré ou péri selon qu'elles ont bien ou mal géré leurs terres. Un des facteurs déterminants du déclin de la civilisation Maya est peut-être d'avoir méconnu les limites d'utilisation des terres sur lesquelles leur production agricole était basée.

Même dans des conditions favorables, la nature peut prendre jusqu'à plusieurs centaines d'années pour créer quelques centimètres de couche arable. Pourtant, l'Homme, tout comme la nature, contribue lui aussi à détériorer ou à détruire cette couche arable. Avec l'évolution de l'agriculture, qui a commencé il y a presque 10 000 ans, les rapports entre l'Homme et la terre ont changé à un rythme croissant. Comme 71 % de la superficie de la planète est formée de mers et d'océans, ce sont les 29 % restants qui doivent assurer la subsistance des quelque 6 milliards d'humains qui habiteront le globe en l'an 2000. Mais, au Canada comme ailleurs dans le monde, seule une infime portion des terres se prête à l'agriculture.

Au moment même où la demande en nourriture et en fibres augmente, la qualité et la quantité des terres agricoles diminuent. Dans la conjoncture économique actuelle, les coûts de production élevés et les profits peu intéressants ne favorisent guère la conservation des sols. La rationalisation de l'agriculture amène l'adoption de méthodes d'agriculture intensive. Ces diverses agressions exercées sur les terres se traduiront par des coûts - tant cachés qu'évidents - qui ne manqueront pas de se manifester bientôt.

Dégradation des terres forestières

À l'origine, la forêt était considérée comme un obstacle par les premiers colons, et ils ont déboisé les terres afin d'aménager leurs fermes. Aujourd'hui, les forêts du Canada constituent une précieuse ressource renouvelable.

> *«Le Canada est un grand exportateur de produits forestiers. Les exportations de bois, de produits du bois et de papier s'élevaient en 1978 à 9,6 milliards de dollars, ce qui représente 19 % de la valeur de tous les biens exportés»* (Statistique Canada, 1981).

En 1981, le secteur forestier a apporté, directement ou indirectement, la somme de 2 212 000 000 $ au produit national brut (Statistique Canada, 1982). Le Canada possède d'immenses superficies de terres forestières (37 % de l'ensemble de son territoire) qui comptent une grande diversité d'espèces poussant dans des climats variés. Mais ces terres forestières doivent être bien administrées si l'on veut que cette ressource garde son importance économique et environnementale pour le pays. Il y a peu de temps encore, nous accusions des surplus de bois et étions donc peu portés à améliorer notre gestion des forêts. Il était plus facile et moins coûteux de pousser plus loin à l'intérieur des terres pour trouver du bois ou même de changer nos habitudes d'utilisation que d'investir dans le reboisement. Aujourd'hui, par contre, le gouvernement et l'industrie essaient tous deux d'améliorer les méthodes de foresterie grâce à une meilleure gestion des forêts.

Certaines méthodes de foresterie adoptées au Canada ont perturbé les terres forestières; la fertilité des sols s'en est trouvé réduite, certaines espèces d'arbres, de plantes et d'animaux qui leur étaient associées ont disparu, des habitats uniques et précieux ont été détruits et la qualité des paysages en a souffert. Toutefois, ce qui perturbe une forêt peut ne pas en perturber une autre. Le stress subi par les terres forestières est double: il y a celui du peuplement et celui de la forêt elle-même.

De tous temps, les forêts ont été menacées par les phénomènes naturels, comme les incendies, les ouragans, les insectes, etc. Aujourd'hui, les diverses méthodes de foresterie adoptées par l'Homme perturbent également les terres forestières. Par exemple, l'évolution des méthodes d'exploitation forestière s'est traduite par des impacts différents sur les terres forestières. À l'origine, le déboisement des terres de l'est du Canada se faisait en hiver, sur la neige, et n'avait que peu de répercussions sur les terres. Mais à mesure que de nouveaux équipements ont été mis au point et que la taille des engins a augmenté, la perte d'éléments nutritifs précieux est devenue un problème. L'utilisation de l'équipement forestier et les méthodes de gestion adoptées ont eu des répercussions sur l'érosion, l'écoulement des eaux, les loisirs, les populations de poissons et d'animaux ainsi que sur les valeurs esthétiques du paysage. Aujourd'hui, les mesures de protection de l'environnement imposées aux exploitations forestières le sont en fonction de l'intérêt public et de l'accessibilité des régions concernées.

À l'heure actuelle, les préoccupations soulevées à l'échelle nationale par les perturbations provoquées par l'exploitation forestière portent surtout sur l'impact économique du manque de régénération. Sur les 800 000 ha déboisés chaque année, moins du tiers reçoit un traitement quelconque; les secteurs laissés à nu ou mal régénérés augmentent à un rythme alarmant. En même temps, on prévoit des pénuries dans l'approvisionnement en bois de construction.

Selon la classification de Rowe, le Canada compte 10 régions forestières, dont la toundra, et chacune d'elles est exposée à une forme particulière de stress. Par exemple, à Terre-Neuve, l'utilisation des débusqueuses a eu de profondes répercussions sur le sol et a détruit les jeunes arbres. Parmi les autres facteurs d'agression observés dans diverses régions forestières, mentionnons la construction de routes, qui entraîne, entre autres, des problèmes d'érosion; l'absence de régénération sur les terres mises à nu; les feux de friches qui suivent la coupe du bois; le brûlage des rémanents qui, en enlevant la couche d'humus, épuise la fertilité des sols dans les sites peu fertiles; la mise à nu des sols minéraux due aux méthodes d'exploitation; la mauvaise application des méthodes de coupe rase, etc.

Nous traitons, dans ce chapitre, de ces deux types de stress, tant sur le plan de la forêt que sur celui du peuplement. Nous y analysons les agressions relevées dans chaque région forestière et étudions chaque activité qui engendre une perturbation sur les terres forestières canadiennes.

Ce chapitre fait ressortir la nécessité d'améliorer la gestion des forêts au Canada et la coopé-

ration entre les gouvernements et l'industrie si l'on veut sauvegarder cette précieuse ressource.

Les lois sur les terres

On peut faire un rapprochement, direct ou indirect, entre la majorité de nos actes et une forme ou une autre d'utilisation des terres. Les types d'utilisation, ainsi que le nombre d'utilisateurs sont à peu près illimités. Toutefois, dans ce spectre d'utilisations apparemment infini, il existe un ensemble de règles qui définissent des normes et des limites socialement acceptables que l'on appelle des lois. Les lois prescrivent également des limites sociales à l'utilisation des terres; toutefois, elles sont forgées et continuent de l'être une à une, selon des juridictions différentes, à des époques différentes. Il n'en reste pas moins que le rapport entre les lois et les terres est important.

Dans la présente publication, le chapitre intitulé «Les terres et les lois sur l'environnement» porte sur ce lien entre lois et terres. Nous y décrivons brièvement comment les lois canadiennes ont évolué et comment elles ont été appliquées aux terres, et nous présentons certaines lois particulièrement intéressantes portant sur la dégradation des terres. Nombre de lois et ordonnances fédérales et provinciales sont citées; toutefois, les décrets, les règlements et les arrêtés municipaux ne sont pas abordés. Afin de ne pas dépayser le lecteur non averti, nous donnons une description du contexte juridique en termes simples et nous avons exclu maintes complexités juridiques associées aux cas de pollution des terres.

De nombreuses disciplines ont trait à l'utilisation des terres - écologie, géologie, géographie, économie, urbanisme et autres - et pourtant, souvent, l'importance du lien entre la loi et les terres est mal comprise.

Résumé

Les chapitres suivants portent sur sept types de stress que subissent les terres et on y analyse la façon dont ils perturbent les ressources en terres. Le dernier chapitre fait exception, puisqu'il porte sur le rapport entre les lois et les terres, mais sans considérer les lois sur l'environnement comme un type de perturbation.

En fin de compte, l'ensemble de nos activités, à moins que celles-ci soient maîtrisées ou orientées, épuise notre capital de ressources en terres. À long terme, le cumul des résultats de cette dégradation pourrait finir par diminuer le pouvoir qu'ont les terres de répondre aux demandes fondamentales de la société canadienne.

BIBLIOGRAPHIE

American Association of School Administrators. 1964. Conservation - In the people's hands. American Association of School Administrators. Washington, D.C.

American Geological Institute. 1962. Glossary of Geology and Related Sciences. The American Geological Institute, National Academy of Sciences - National Research Council. Washington, D.C.

Anon. 1979. «Threats to Biological Systems.» EPA Journal. vol. 5, nº 10. United States Environmental Protection Agency. Washington, D.C.

Bentley, C. Fred. 1981. «Agricultural Land and Canada's Future.» Klinck Lecture, L'Institut agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Committee on Soil as a Resource in Relation to Surface Mining for Coal. 1981. Surface Mining: Soil, Coal, and Society. National Academy Press. Washington, D.C.

Coote, D.R.; Ramsey, J.F.; et Dumanski, J. 1982. Une évaluation de la dégradation des terres agricoles au Canada. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Detwyler, Thomas R. 1971. Man's Impact on Environment. McGraw-Hill Book Company. New York, New York.

Fingas, M.F., *et al.* 1979. Principes fondamentaux du nettoyage des déversements d'hydrocarbures: Compte tenu spécialement du sud du Canada. Service de la protection de l'environnement. Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Janis, Irving L., et Mann, Leon. 1977. Decision Making: A Psychological Analysis of Conflict, Choice, and Commitment. The Free Press. New York, New York.

Leopold, Aldo. 1966. A Sand County Almanac. Oxford University Press. New York, New York.

Marzani, Carl. 1972. The Wounded Earth. Young Scott Books. Reading, Massachusetts.

Peltier, Louis C. 1981. «Land Use as an Environmental Science.» The Journal of Environmental Sciences. vol. 24, nº 4, pp. 11–14, Institute of Environmental Sciences. Mt. Prospect, Illinois.

Selye, Hans. 1973. «The Evolution of the Stress Concept.» American Scientist. vol. 61. The Society of the Sigma Xi. New Haven, Connecticut.

_____. 1974. Stress Without Distress. The New American Library of Canada Limited. Scarborough, Ontario.

Soil Conservation Society of America. 1980. Resource-Constrained Economies: The North American Dilemma. Based on material presented at the 34th annual meeting of the Soil Conservation Society of America. Tenu en août 1979 à Ottawa, Ontario. Ankeny, Iowa.

Statistique Canada. 1981. Annuaire du Canada 1980–81. Approvisionnements et Services Canada. Hull, Québec.

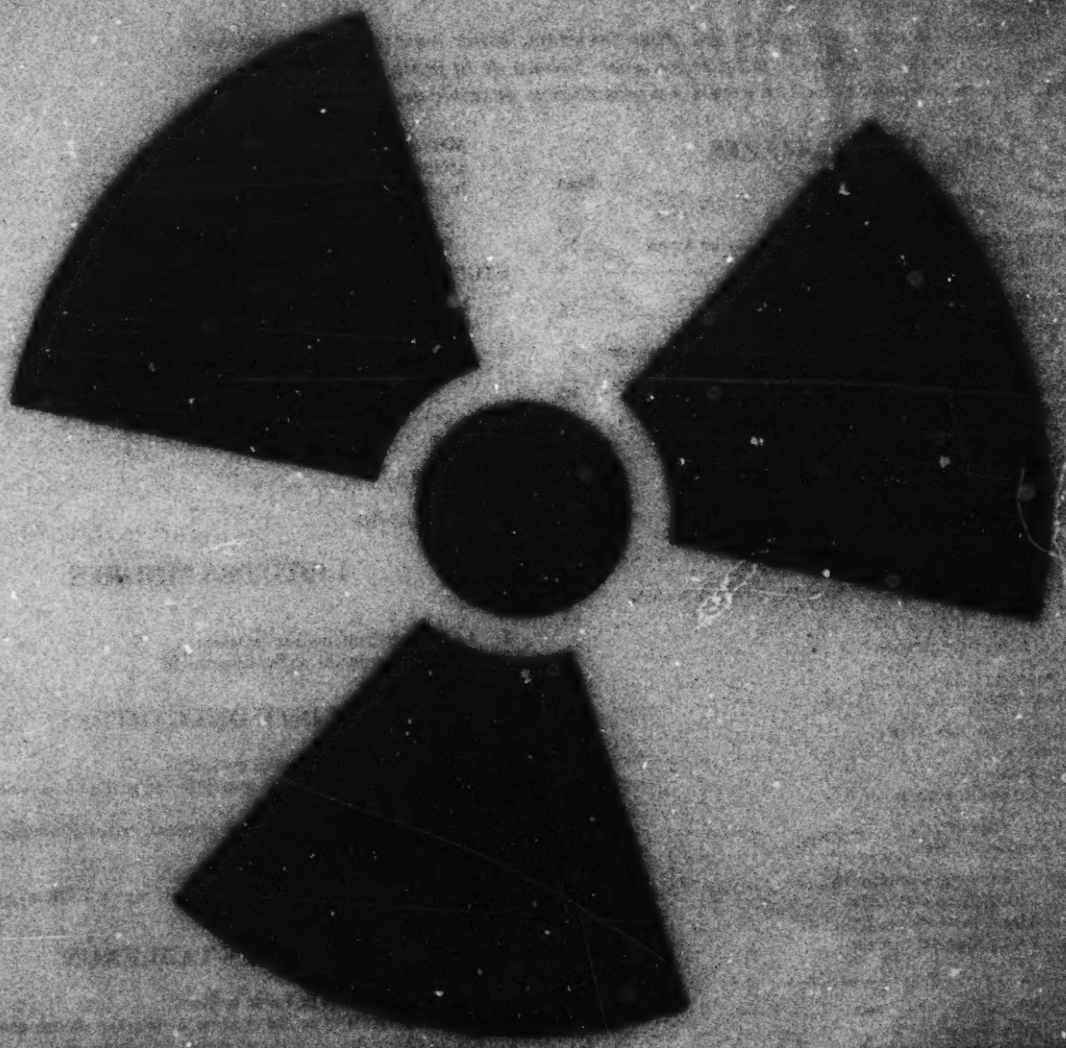
_____. 1982. Comptes nationaux des revenus et des dépenses: Les estimations annuelles 1967–1981. Catalogue 13-201 Annuel. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa, Ontario.

Udall, Stewart L. 1963. The Quiet Crisis. Holt, Rinehart and Winston. New York, New York.

United States Council on Environmental Quality and the Department of State. 1980. The Global 2000 Report to the President: Entering the Twenty-First Century. Volume 1. United States Government Printing Office. Washington, D.C.

Vicars, Maryhelen. 1982. «Commodity or Resource.» Environment Views. vol. 5, nº 5, p. 3–4. Alberta Environment. Edmonton, Alberta.

ÉLIMINATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS



DÉCHETS RADIOACTIFS PRODUITS PAR LES CENTRALES NUCLÉAIRES ALIMENTÉES À L'URANIUM

Ian G. Redmond de concert avec C. Barraud, W.B. Blakeman et E.F. Muller*

* *M. Redmond, BES est un pigiste*
Le Dr Barraud travaille à la Direction des programmes nucléaires du Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada et servit d'expert pour les déchets de grande activité
M. Blakeman travaille à la Direction des mines, minéraux et procédés métallurgiques, du Service de la protection de l'environnement et a servi d'expert dans le domaine des mines d'uranium et des stériles
Le Dr Muller travailla pour la Direction des programmes nucléaires mais travaille maintenant au Centre de gestion des produits chimiques toxiques, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada et sert d'expert pour les déchets de faible activité.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	15
Comment s'exercent les contraintes imposées sur les terres	16
Données historiques	16
DÉCHETS RADIOACTIFS DE FAIBLE ACTIVITÉ	16
Profil	16
Formation, composition et gestion des déchets de faible activité	17
Méthodes actuelles de stockage	18
Méthodes potentielles de décharge permanente	18
Superficies requises pour l'élimination des déchets de faible activité	18
Effets à long terme	18
Impact physique sur les terres	18
Effets sur l'esthétique	18
Effets sur la valeur marchande des terres	18
Changements dans la productivité	19
RÉSIDUS DES MINES ET DES USINES DE CONCENTRATION DE L'URANIUM	19
L'extraction et la concentration	20
L'extraction	20
La concentration	20
Composition des résidus miniers	20
Autres déchets	21
Taux de production	21
Mise en décharge des déchets	21
Méthodes actuelles	21
Méthodes alternatives	22
a. Remblayage souterrain	22
b. Stockage à ciel ouvert	22
c. Immersion en eau profonde	22
d. Empilage ou mise en tas	22
Impacts	22
Contamination de l'eau	23
Impacts physiques	23
La pollution atmosphérique et les terres	24
Effets sur l'esthétique	24
Effets sur l'utilisation des terres	24
Remise en état ou réversibilité	24
DÉCHETS RADIOACTIFS DE GRANDE ACTIVITÉ	24
Nature et composition des déchets	25
Taux de production	25
Méthodes de stockage actuelles	25
Méthodes de décharge proposées	25
Impacts	26
Installations existantes	26
Installations de dépot souterrain proposées	27
ÉTUDE DE CAS: ELLIOT LAKE	27
Introduction	27
Impacts sur les terres	27
Dimensions des sites de stockage des résidus miniers	29
Impact sur l'utilisation des terres	29
Utilisations futures des terres	31
Utilisations à court terme	31
Utilisations à long terme	31
GLOSSAIRE	32
BIBLIOGRAPHIE	33

LISTE DES FIGURES

1.	Le cycle du combustible nucléaire	15
2.	Schéma de principe du lessivage acide	20

LISTE DES CARTES

1.	Emplacement des centrales nucléaires	17
2.	Emplacements actuels des sites de stockage des déchets de faible activité au Canada	18
3.	Mines d'uranium (anciennes et en opération) et gisements uranifères au Canada	19
4.	Situation géographique d'Elliot Lake	27
5.	Mines, usines et résidus miniers dans la région d'Elliot Lake	28

LISTE DES TABLEAUX

1.	Volume des déchets de faible activité	16
2.	Centrales CANDU en exploitation, en chantier ou prévues	17
3.	Classification des déchets radioactifs des réacteurs	17
4.	Production annuelle de déchets radioactifs d'une centrale CANDU de 2200 mégawatts	18
5.	Radionucléides importants dans les résidus d'extraction et de concentration	21
6.	Radionucléides importants dans le combustible épuisé des réacteurs CANDU	25
7.	Poids des résidus miniers existants	27
8.	Sites de stockage des résidus miniers	29

INTRODUCTION

L'industrie électronucléaire engendre, au cours des divers stades de ses opérations, trois types de sous-produits indésirables: les déchets radioactifs de grande activité, les déchets radioactifs de faible activité et les résidus des mines d'uranium*. Les étapes du cycle du combustible nucléaire sont l'extraction et la concentration du minerai d'uranium, le raffinage du combustible et finalement son utilisation dans les réacteurs nucléaires pour produire de l'électricité. On différencie les types de déchets selon l'intensité du rayonnement qu'ils émettent. La figure 1 illustre le cycle du combustible nucléaire et les opérations qui produisent des déchets.

Les déchets radioactifs de grande activité proviennent de l'exploitation des réacteurs nucléaires. Le combustible épuisé des réacteurs contient des éléments très radioactifs, qui représentent plus de 99 % de la radioactivité globale de tous les déchets du cycle du combustible nucléaire (Aikin *et al.*, 1977).

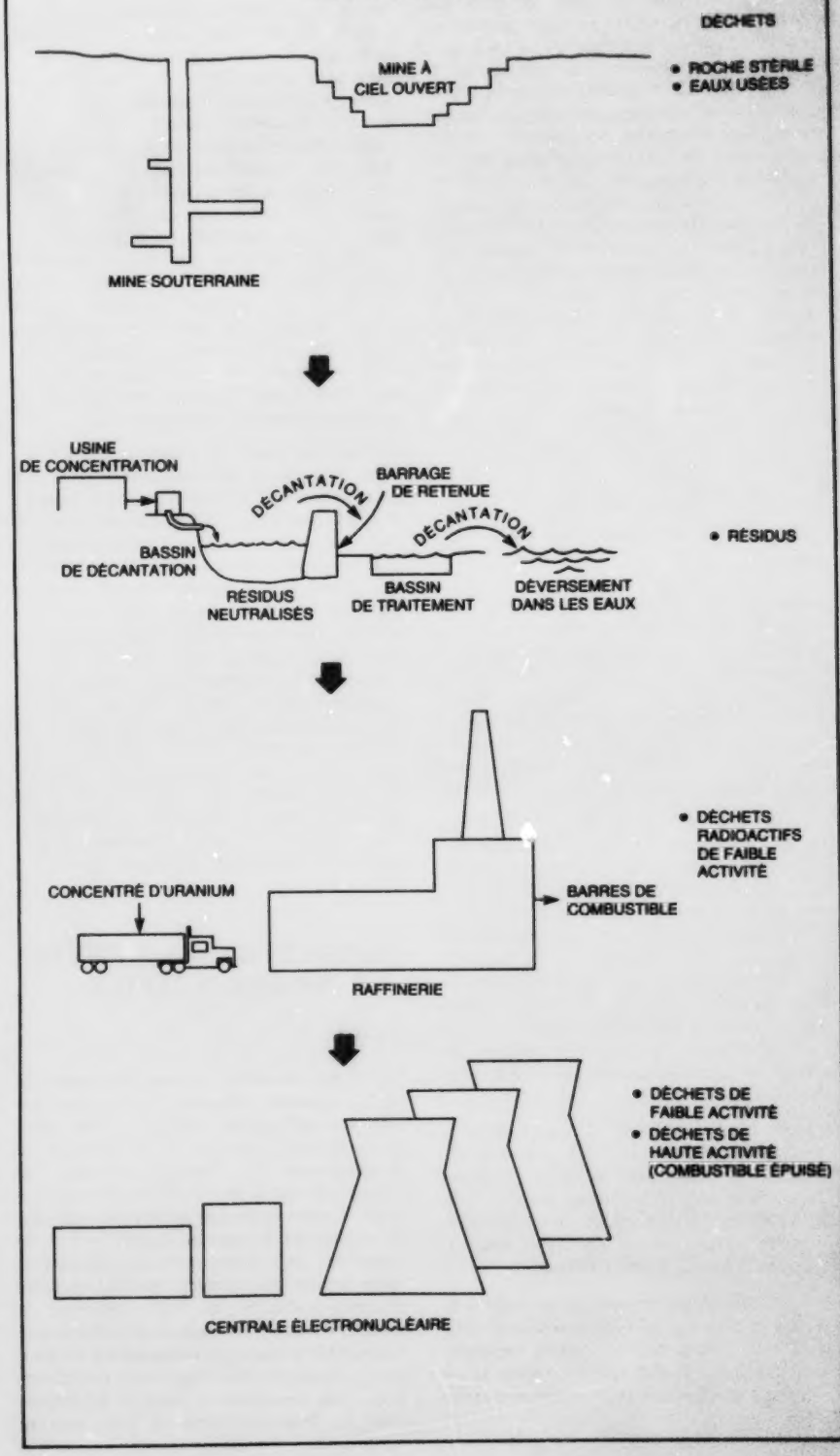
Les déchets radioactifs de faible activité se composent principalement d'objets qui entrent en contact avec des matières radioactives pendant l'exploitation et l'entretien du réacteur. Ils comprennent notamment des filtres, des balais éponges, des torchons, des vêtements et d'autre matériel d'entretien.

Les résidus miniers sont des sous-produits d'une exploitation minière où l'on extrait un minéral métallique à partir d'une grande quantité de minerai. (Dans le cas des mines d'uranium, on extrait de très faibles quantités de métal à partir de très grandes quantités de minerai.) Les résidus miniers d'uranium sont composés surtout de minéraux communs comme le quartz, le feldspath, le mica, la pyrite, la calcite, etc., ainsi que de très faibles quantités de minéraux radioactifs non extraits (par exemple du radium 226, du plomb 210 et du thorium 232) dont la radioactivité totale est en fait appréciable. Ces matières solides, ajoutées aux déchets liquides tels que les eaux contaminées et les réactifs chimiques provenant des procédés de concentration, sont pompées en état de suspension sous forme de boues liquides-solides vers de grands bassins de décantation.

Pour évaluer précisément les contraintes que peuvent exercer les déchets radioactifs sur les terres, il faut pouvoir déterminer dans quelle mesure ils modifient le milieu naturel. Les élé-

* On appelle «déchets historiques» les déchets auxquels ne s'est pas appliqué le processus de réglementation actuel. Habituellement, ces déchets étaient produits par inadvertance et étaient mis en décharge de diverses façons. On estime qu'il existe 1 000 000 m³ de déchets historiques au Canada (Hickling-Partners Inc., 1981).

FIGURE 1.
Le cycle du combustible nucléaire



ments radioactifs se trouvent à l'état naturel dans l'environnement, mais sont aussi produits dans les réacteurs nucléaires; ce n'est que lorsqu'ils sont concentrés par l'être humain ou produits dans des réacteurs qu'un traitement spécial devient nécessaire. Le stockage et la mise en décharge des déchets radioactifs affecte l'utilisation et la valeur marchande des terres. Le mode d'élimination permanente préconisé actuellement est l'enfouissement aussi bien des déchets de grande que de faible activité de sorte que leur teneur en matières radioactives soit isolée d'une manière efficace des êtres humains. À l'heure actuelle, on met en tas les résidus d'uranium à la surface des terres, sur des terrains qui ensuite ne peuvent être réutilisés à d'autres fins. En outre, les déchets étant radioactifs, en procédant de la sorte on suscite une certaine appréhension chez la population, ce qui peut avoir un effet préjudiciable sur l'utilisation et la valeur des terres avoisinantes.

Comment s'exercent les contraintes imposées sur les terres

La quantité des différents types de déchets radioactifs croît au fur et à mesure que la production d'énergie nucléaire augmente. Actuellement, les seules terres utilisées pour le stockage des déchets de faible et de grande activité se trouvent sur les sites des centrales nucléaires; dans le cas des résidus d'uranium, les terres utilisées sont les terres adjacentes aux mines et usines d'uranium et les terres à proximité de la raffinerie d'uranium de Port Hope.

Les emplacements actuels de stockage des déchets de grande et de faible activité n'occupent pas de grandes superficies, puisque la quantité de déchets est relativement restreinte. Les résidus stériles des mines d'uranium nécessitent, quant à eux, des centaines d'hectares. En plus, une fois qu'on aura choisi une méthode d'élimination permanente, il faudra peut-être prévoir des zones tampons pour séparer les terres directement utilisées pour le stockage des déchets des terrains adjacents utilisés à d'autres fins.

L'aspect le plus critique de la mise en décharge des déchets nucléaires tient à leur radioactivité. Toute terre utilisée pour la décharge de ces déchets ne pourra probablement pas être utilisée à d'autres fins pendant une période pouvant varier de quelques années à plusieurs millénaires, selon le type de déchet radioactif.

Il paraît certain que les effets du stockage et de la mise en décharge des déchets radioactifs peuvent se faire sentir bien au delà de l'emplacement des sites utilisés et interdire l'usage de ces derniers à d'autres fins pour un temps considérable.

Données historiques

Depuis la naissance de l'industrie nucléaire au Canada au début des années 40, les déchets radioactifs se sont multipliés sans qu'on se préoccupe sérieusement de leur mise en décharge permanente. L'industrie a débuté pendant la Deuxième Guerre mondiale avec l'exploitation du minerai d'uranium à des fins militaires. La demande qui avait augmenté avec l'utilisation des premières bombes atomiques en 1945 prit un élan considérable lorsque la course aux armements entre Américains et Soviétiques donna le jour à une multitude d'armes nucléaires. L'utilisation ultérieure de l'uranium pour produire de l'électricité fit encore augmenter la production des déchets radioactifs. Avec le nombre croissant de centrales nucléaires, il devint de plus en plus évident qu'il fallait découvrir une méthode de décharge permanente des déchets.

L'uranium est une source importante d'énergie. Avec l'épuisement des combustibles fossiles à l'échelle mondiale et l'exploitation maximum de la plupart des cours d'eau présentant un intérêt économique pour la production d'hydro-électricité, on essaie maintenant de trouver des sources d'énergie de remplacement; l'énergie nucléaire est l'une d'entre elles. À l'heure actuelle, l'énergie nucléaire représente environ 3,5 % de la consommation totale d'énergie au Canada et ce pourcentage va probablement s'accroître (Ward, 1981). Plus de 21 % de l'énergie produite dans l'Ontario est maintenant d'origine nucléaire (EMR, 1981*a*). Tout accroissement de la production d'énergie nucléaire entraîne une augmentation de la quantité de déchets radioactifs, et par conséquent leur mise en décharge d'une façon permanente et sûre devient de plus en plus urgente.

DÉCHETS RADIOACTIFS DE FAIBLE ACTIVITÉ

Profil

Les déchets de faible activité proviennent de sources diverses: exploitation et entretien des réacteurs, raffinage de l'uranium et fabrication du combustible, travaux de recherche et de développement de l'Énergie Atomique du Canada Limitée et les utilisateurs de radio-isotopes; il existe également des sources secondaires comme les établissements médicaux et de recherche. La majeure quantité de déchets de faible activité est cependant produite dans les réacteurs nucléaires. De faibles quantités de produits de fission se dégagent des éléments de combustible pendant le fonctionnement du réacteur et s'ajoutent à des traces de produits d'activation pour contaminer le fluide de refroidissement. Le fluide contaminé est traité pour en extraire les éléments radioactifs. Les objets utilisés pour le nettoyage et l'entretien de la centrale, pour le traitement du fluide de refroidissement et pour l'entretien et le remplacement des pièces et de l'équipement usés sont tous classés dans la catégorie des déchets radioactifs de faible activité. La radioactivité de ces déchets peut varier d'un niveau à peine décelable à un niveau très élevé. Ils peuvent être potentiellement dangereux pendant des périodes allant de quelques heures à plusieurs milliers d'années.

Les déchets radioactifs ont deux caractéristiques distinctes: leur niveau de radioactivité et leur période d'activité dangereuse, qui permettent de déterminer la gravité et la durée de leur isolation aussi bien de la biosphère que de l'être humain. Les déchets radioactifs doivent demeurer isolés pendant la période ou ils sont jugés potentiellement dangereux. Ceux qui contiennent des radionucléides de courte demi-vie (la demi-vie est la période de temps nécessaire pour que la radioactivité de l'élément diminue de moitié) voient leur radioactivité décroître assez rapidement. Les déchets radioactifs qui contiennent des radionucléides dont le niveau d'activité est élevé ou modérément élevé, mais dont les périodes de demi-vie sont longues, posent des difficultés pour des périodes beaucoup plus grandes puisqu'il faut les isoler de l'être humain beaucoup plus longtemps.

Les déchets de faible activité exercent des contraintes sur les terres parce que leur décharge, soit par enfouissement dans le sol, soit par la construction d'une installation de stockage, utilise des terres. Les déchets des centrales nucléaires ontariennes sont actuellement stockés sur place à la centrale nucléaire de Bruce dans une installation spécialement conçue à cette fin. Aucune décision n'a encore été prise quant à une méthode permanente d'élimination.

TABLEAU 1.
Volume des déchets de faible activité

	Cumulé d'ici l'an 2000 (Volume en 1 000m³)
Sol contaminé et déchets secondaires (en vrac)	900,0
Résidus de raffinerie	280,0
Déchets de raffinage et de fabrication du combustible	35,0
Déchets des réacteurs et des travaux d'entretien d'EACL	76,0
Universités, hôpitaux, industries, EACL (divers)	18,0
Total	1 309,0

Source: EMR, 1982.

CARTE 1.
Emplacement des centrales nucléaires

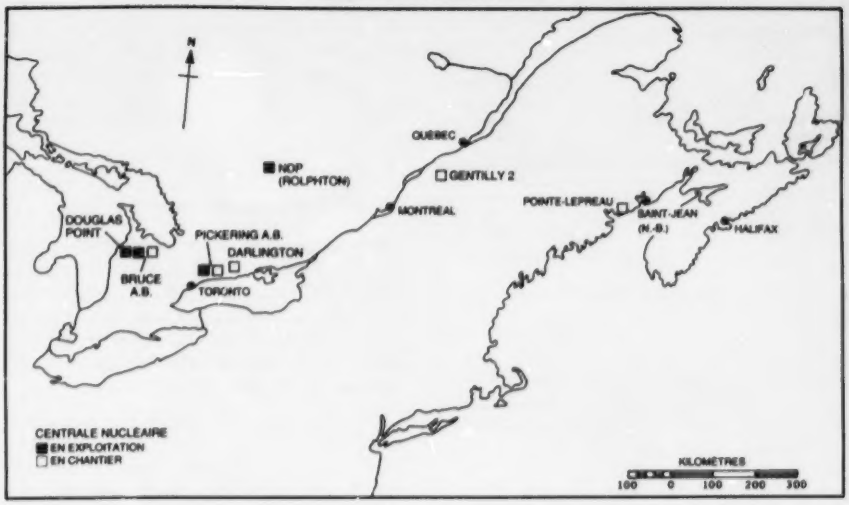


TABLEAU 2.
Centrales CANDU
en exploitation, en chantier ou prévues

Centrale	Emplacement	Nombre de réacteurs	Capacité de production nette (MW(e))	Date de mise en service
NPD Rolphton	Ontario	1	22	1962
Douglas Point	Ontario	1	208	1967
Pickering A	Ontario	4	2 056	1971-1973
Bruce A	Ontario	4	2 984	1976-1979
Gentilly 2	Québec	1	600	1982-1983
Pointe-Lepreau	Nouveau-Brunswick	1	600	1982-1983
Pickering B	Ontario	4	2 064	1983
Bruce B	Ontario	4	3 000	1984
Darlington A	Ontario	4	3 200	1988-1991

Pour évaluer les contraintes susceptibles d'être exercées sur les terres par la décharge de ces déchets, il faut établir la quantité de déchets produits et leur composition. Le tableau 1 indique la quantité totale de déchets de faible activité qui sera produite d'ici l'an 2000.

Tous les réacteurs canadiens sont de type CANDU et toutes les centrales en exploitation sont pour le moment situées en Ontario (carte 1). Plusieurs autres emplacements sont prévus ou en chantier. Le tableau 2 donne la liste de l'ensemble des centrales canadiennes, avec leur capacité de production respective.

Notons que la capacité de production d'une centrale est importante dans l'établissement du taux de production de déchets. Le raffinage de l'uranium constitue une autre source importante de déchets de faible activité. Il n'existe qu'une seule raffinerie d'uranium au Canada, située à Port Hope (Ontario). D'autres installations de raffinage et de transformation de l'uranium sont prévues à Port Hope et à Blind River (Ontario). On peut donc dire qu'au Canada, la plus grande partie des déchets de faible activité est produite en Ontario.

D'ici l'an 2000, quelques-uns des petits réacteurs, comme ceux de Douglas Point et de Rolphton ne seront plus en exploitation et devront être désaffectés. La désaffectation nécessite le démantèlement des réacteurs et des bâtiments qui les logent. Les déchets de faible activité produits de la sorte comprennent de la machinerie et des structures de béton, et par conséquent, ne peuvent la plupart du temps être incinérés ni compactés. Il faudra donc réserver des terres pour leur dépôt.

Formation, composition et gestion des déchets de faible activité

Dans un réacteur, la fission (division du noyau atomique pour obtenir de l'énergie) engendre un grand nombre de radioéléments, dits produits de fission, fortement radioactifs. D'autres radioéléments sont aussi formés par l'activation neutronique du combustible, du fluide de transfert de chaleur primaire et du modérateur (eau lourde), des produits de corrosion et des composantes du réacteur. Les radioéléments qui pénètrent dans le fluide de transfert de chaleur en sont continuellement retirés, ce qui produit des déchets de faible activité. La composition et l'activité des déchets varie considérablement en fonction de leur provenance.

La radiation provenant des déchets présente un danger pour la santé des êtres humains et pour l'environnement. Il faut donc exercer une surveillance et un contrôle sur les déchets de faible activité jusqu'à ce que ce danger soit disparu.

Les déchets de faible activité provenant de l'exploitation des réacteurs sont des déchets solides d'activité variable, les plus faibles activités se trouvant dans les déchets secs, c'est-à-dire le papier, les vêtements de protection, les rebuts de métal et de plastique. Des niveaux élevés d'activité sont présents dans les substances qui ont été en contact étroit avec le système du réacteur, notamment les filtres usés, les colonnes d'échange d'ions et les pièces de réacteur. Ces déchets sont actuellement stockés sur place dans des fosses de béton. Les déchets solides se répartissent en deux classes: les déchets traitables, soit ceux qu'on peut incinérer ou compacter, et les déchets non traitables, comme la machinerie, qui sont simplement stockés tels quels (tableau 3).

Le tableau 3 montre que les déchets les plus radioactifs ne se prêtent pas à une réduction de volume; ceux qui peuvent être réduits représentent moins de 2 % de l'activité totale des déchets de faible activité. Le tableau 4 illustre l'effet d'une réduction de volume des déchets traitables.

TABLEAU 3.
Classification des déchets radioactifs des réacteurs

Type	Volume (%)	Radioactivité (%)
Déchets non traitables	12	98,4
Déchets traitables:		
a) combustibles	63	0,05
b) non combustibles (compactés)	25	1,55

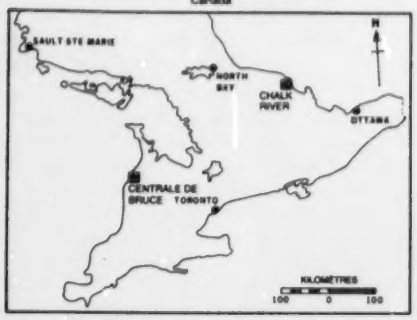
Source: Muller, 1980.

TABLEAU 4.
Production annuelle de déchets radioactifs d'une centrale CANDU de 2 200 mégawatts

Type de déchets	Volume (m³) Avant traitement	Volume (m³) Après traitement	Radioactivité estimée (curies)
Incinérables	500	8,3	160
Compactables	300	60	96
Ne se prêtant pas à une réduction de volume	200	200	13 000
Total	1 000	268,3	13 256

Source: Muller, 1980.

CARTE 2
Emplacements actuels des sites de stockage des déchets de faible activité au Canada



L'incinération et le compactage diminuent considérablement le volume de certains déchets; toutefois, on ne peut pratiquement rien faire pour réduire le volume des déchets non traitables. Tous les déchets sont acheminés vers des installations de stockage.

Méthodes actuelles de stockage

Quelques emplacements de stockage importants sont situés dans l'Ontario, tels celui de la centrale nucléaire de Bruce et celui de Chalk River (carte 2). À Bruce, on stocke des déchets provenant du cycle électronucléaire à la centrale même, sur une superficie d'environ 8,5 ha (Hydro Ontario 1978); les déchets en question sont les sous-produits de la centrale de Bruce ainsi que ceux des centrales de Douglas Point et de Pickering.

Cet emplacement a une capacité d'environ 3 700 m³ (Hydro Ontario, 1978). Comme il est situé à l'intérieur des limites de la centrale, il ne nuit pas plus aux terres avoisinantes que la centrale elle-même. Sauf l'accès interdit, aucune restriction n'a été imposée à l'emplacement à cause de la présence des déchets. Quant à l'installation de Chalk River, elle reçoit des déchets de réacteur ainsi que des déchets d'autres sources. Aucune précaution d'isolation particulière n'est apparente, si ce n'est la présence de panneaux d'interdiction d'accès et d'une clôture autour de la centrale. Les déchets de faible activité qui sont stockés à différentes installations le sont temporairement en attendant qu'on adopte une méthode de décharge permanente.

Méthodes potentielles de décharge permanente

Aucune méthode de décharge n'a été mise au point pour les déchets de faible activité, mais plusieurs alternatives ont été proposées:

a) immersion en mer des déchets scellés dans des contenants appropriés;
b) enfouissement à faible profondeur dans le sol;
c) enfouissement dans des décharges contrôlées;
d) dépôt dans des mines désaffectées.

Les méthodes techniquement les plus prometteuses pour le Canada sont l'enfouissement à faible profondeur et l'utilisation des décharges contrôlées existantes. Ce sont les caractéristiques de l'emplacement et la nature des déchets qui détermineront si un lieu donné peut servir ou non à des fins de décharge permanente.

Superficies requises pour l'élimination des déchets de faible activité

Il est possible d'évaluer quantitativement les besoins en terres qu'engendrera la mise en décharge des déchets de faible activité. Si l'on suppose qu'en l'an 2000, le volume des déchets de faible activité s'élèvera à 1 372 300 m³ et que les déchets seront déposés sur une épaisseur d'environ 7 m, il faudra disposer d'une superficie de 196 000 m² ou 19,6 ha. Au Canada, la superficie moyenne d'un terrain de football est d'environ 1 ha, de sorte que les terres requises pour le dépôt de ce type de déchets représentent un peu moins de 20 terrains de football, c'est-à-dire une surface relativement petite sur une échelle nationale ou même régionale.

Effets à long terme

Le niveau de radioactivité des déchets, et la nature des radionucléides qu'ils contiennent, déterminent la période pendant laquelle un site particulier ne peut servir à d'autres fins. Cette contrainte exercée sur les terres peut durer plusieurs générations.

Impact physique sur les terres

L'impact physique sur les terres des installations de stockage existantes, si on ne tient pas compte de l'impact associé à la construction des bâtiments eux-mêmes, est très faible. Le sol sera sans doute compacté ou perturbé, mais ces effets ne sont pas spécialement spécifiques au stockage des déchets de faible activité.

La désaffectation des installations existantes, après cessation de l'exploitation, nécessitera l'élimination des structures érigées sur l'emplacement, puisque celles-ci seront devenues elles aussi radioactives. Il est donc probable que les terres ayant servi au stockage des déchets resteront inutilisables jusqu'à ce que leur niveau d'activité ne présente plus aucun danger.

L'impact physique sur les terres d'un enfouissement à faible profondeur particulier dépend de l'excavation creusée. Ce mode d'enfouissement nécessite en effet qu'on creuse une fosse ou une tranchée dans le sol, et qu'on modifie ainsi la nature du terrain existant. Le danger potentiel de ce mode de décharge pourrait donc être une contamination des eaux souterraines, par lessivage des radioéléments, en plus des effets physiques sur le sous-sol. Les déchets de faible activité pourraient de cette façon provoquer une contamination importante et entraîner de graves conséquences à long terme. La pollution des eaux souterraines peut donc constituer un problème à long terme pour une installation de décharge à faible profondeur.

Effets sur l'esthétique

Les installations de stockage actuelles de la centrale de Bruce sont peu apparentes puisqu'elles se confondent avec les autres bâtiments qui composent la centrale; aucune caractéristique spéciale ne les distingue des autres.

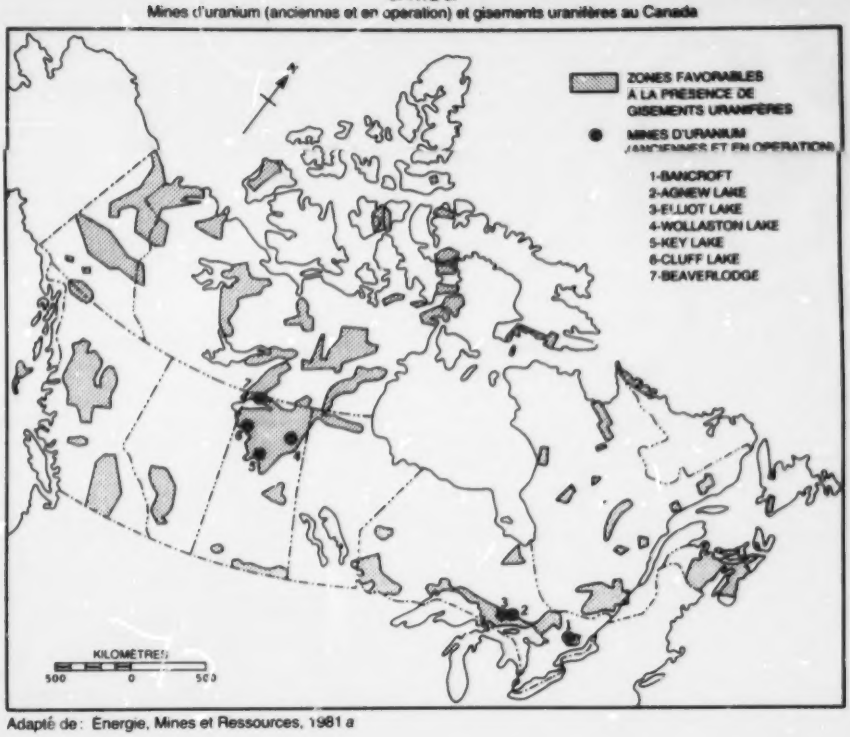
On n'observe aucune particularité visuelle ou esthétique pouvant être attribuée à la mise en décharge de certains déchets de faible activité dans un lieu d'enfouissement sanitaire. Les effets produits par n'importe quel enfouissement sanitaire étant les mêmes quelle que soit la nature des déchets, nous n'en tenons pas compte ici.

Effets sur la valeur marchande des terres

Tout changement, s'il se produit dans la valeur marchande des terres tient principalement aux

appréhensions de la population en ce qui concerne les déchets radioactifs. Il est probable que la valeur d'une terre contenant des déchets de ce type (ainsi que celle des terres avoisinantes) diminue, comme cela s'est produit à Port Hope et à Scarborough.

CARTE 3.
Mines d'uranium (anciennes et en operation) et gisements uranifères au Canada



Adapté de : Énergie, Mines et Ressources, 1981 *a*

Les déchets contenant des radionucléides de courte période ne rendent les terres impropres à la culture que pendant un temps limité. Une terre qui contient des déchets de faible activité pourrait être réutilisée à sa fin première ou à une autre fin après une période de surveillance appropriée. Quant aux répercussions sur les terres avoisinantes, elles dépendent de la méthode d'enfouissement choisie.

Changements dans la productivité

Comme aucune méthode de décharge des décnets de faible activité n'a encore été adoptée, il est difficile de prévoir comment la productivité des terres risque d'être influencée dans l'avenir. Si, par exemple, on faisait appel à l'enfouissement en décharge contrôlée, on pourrait se servir d'une décharge sanitaire existante. Dans ce cas il n'aurait alors aucune perte de productivité directement attribuable à la présence des déchets de faible activité à cet emplacement. Cependant, la productivité des terres avoisinantes pourrait diminuer s'il fallait prévoir une zone tampon quelconque. Il est aussi possible que des propriétaires avoisinants ne mettent plus leur terre en valeur, éprouvant des craintes pour leur propre santé ou croyant que la terre n'est plus utilisable.

RÉSIDUS DES MINES ET DES USINES DE CONCENTRATION DE L'URANIUM

Les terrils de résidus des mines et des usines de concentration de l'uranium constituent, en volume, la portion la plus importante de déchets produite pendant le cycle du combustible nucléaire. La concentration du minerai d'uranium produit d'énormes quantités de résidus sableux de faible activité, qui sont actuellement mis en tas sur de grandes superficies près des mines et des usines. C'est essentiellement la radioactivité des résidus d'uranium qui les distingue des autres résidus miniers. Au Canada, les régions où l'on exploite actuellement les gisements d'uranium sont situées dans le Bouclier canadien: Bancroft et Elliot Lake en Ontario, Beaverlodge et Rabbit Lake en Saskatchewan (carte 3). Des dépôts en Colombie-Britannique, à Terre-Neuve et en Nouvelle-Écosse pourraient éventuellement être exploités.

Actuellement, il y a au Canada que six mines d'uranium: deux à ciel ouvert et quatre souterraines. Les mines à ciel ouvert, Rabbit et Cluff, sont toutes deux situées en Saskatchewan, soit à Wollaston Lake et à Cluff Lake. Les mines souterraines sont la Denison Mines Ltd. et les mines Quirke et Panel de la Rio Algom, qui sont situées à Elliot Lake en Ontario. Les propriétaires de la mine d'Agnew Lake près d'Espanola (Ontario) ont déposé une demande auprès de la Commission de Contrôle de l'Énergie atomique en vue de fermer la mine et les emplacements de décharge des déchets; la mine ne sera probablement plus en exploitation au moment de la publication de ces lignes. La Madawaska Mines, a suspendu ses opérations en attendant que le marché s'améliore. Même si de nouvelles mines dans le nord de la Saskatchewan pourraient bientôt être exploitées, Eldorado Nucléaire a cessé la production à Beaverlodge pendant l'été de 1982 a été désaffectée. En janvier 1983 seulement six usines étaient en exploitation au Canada, quatre étaient situées en Ontario et deux en Saskatchewan (Cluff Lake et Wollaston Lake).

L'extraction et la concentration

L'extraction

La plus grande partie du minerai d'uranium canadien provient actuellement de gisements souterrains. Le minerai est extrait du gisement de manière à laisser des piliers de roche et de minerai pour supporter le plafond des galeries. Le cycle de l'extraction comprend essentiellement: le forage et le dynamitage de la roche, le chargement et le transport du minerai (horizontalement et verticalement). Les méthodes utilisées varient selon la nature du gisement.

Les exploitations à ciel ouvert ne sont utilisées que dans les régions où le minerai gît à faible profondeur. La couche de mort-terrain et le roc de couverture sont enlevés. Il se peut qu'on doive forer et dynamiter pour extraire le minerai, ou encore simplement creuser et transporter le minerai, en laissant une excavation dans le sol après l'extraction. Il est probable que la plupart des exploitations futures se feront à ciel ouvert (Ministère de l'environnement, Ministère des pêches et océans, 1979).

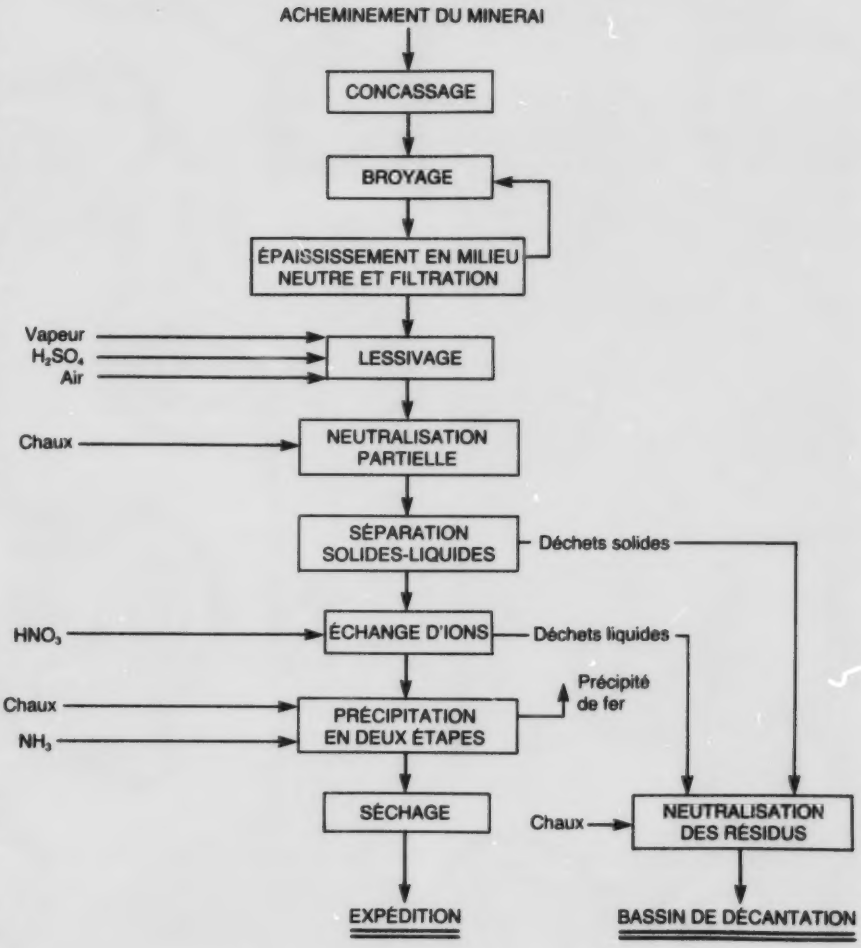
La concentration

La concentration est le processus par lequel l'uranium est extrait du minerai et converti en une substance appelée concentré d'uranium. Ce concentré, une fois raffiné ailleurs, sert à la fabrication de combustible pour les réacteurs nucléaires.

Le minerai entre à l'usine, où il est concassé et broyé. Il subit ensuite une série de traitements chimiques destinés à en extraire l'uranium. Cette opération produit deux types de déchets: des déchets solides composés du résidu du minerai, et des déchets liquides composés d'eau, de substances lessivées du minerai et de produits chimiques utilisés dans l'extraction de l'uranium. L'uranium extrait est séché et conditionné pour pouvoir être transporté sous forme de concentré. Les deux types de déchets sont combinés, neutralisés à la chaux ou au calcaire et déversés sous forme de stériles dans les bassins de décantation.

Ces bassins servent à la décantation des résidus solides qui sont en suspension dans les déchets liquides et à la rétention des résidus solides. Dans ces bassins, les solides se déposent au fond et les rejets liquide sont acheminés vers les bassins de traitement secondaires. Le traitement secondaire consiste à éliminer les radioéléments et les métaux lourds restants par décantation, l'effluent est ensuite rejeté dans le cours d'eau le plus proche à condition qu'il respecte les normes fédérales et provinciales applicables. La figure 2 représente schématiquement le procédé de concentration du minerai d'uranium.

FIGURE 2.
Schéma de principe du lessivage acide
(Elliot Lake)



Composition des résidus miniers

La plus grande partie de la radioactivité du minerai d'uranium se trouve sous forme de radium 226 dans les résidus miniers mis en décharge sur les terrains servant à la gestion des déchets. On estime que 85 % des matières radioactives contenues dans le minerai sont ainsi déchargées avec les résidus miniers (Blakeman, 1979). La composition réelle des résidus miniers dépend de la minéralogie du minerai ainsi que des procédés et des produits chimiques utilisés pour extraire l'uranium. Quelle que soit la méthode d'extraction utilisée (lessivage acide ou alcalin selon la nature du minerai), les boues de résidus de concentration contiennent entre 25 % et 40 % de matières solides. Celles-ci sont composées de particules de minéraux rocheux communs et peuvent aussi contenir des métaux lourds, de la pyrite et différentes proportions et combinaisons de radioéléments restants (tableau 5).

La concentration des radionucléides dans les résidus miniers est deux à trois fois plus grande que celle existant dans le milieu naturel. Environ 98 % du radium déchargé dans les bassins de décantation l'est sous forme solide; avec seulement 2 % ou moins de cet élément dissous dans la fraction liquide. De 70 % à 80 % du radium contenu dans les résidus miniers se trouvent habituellement dans les poussières, qui sont composées de particules très fines de sable et d'argile. Les poussières représentent environ un tiers du total des résidus miniers solides (Blakeman, 1979). Le reste des résidus miniers est composé de sable plus grossier. Les poussières de minerai doivent être bien décantées de

TABLEAU 5.
Radionucléides importants dans les résidus d'extraction et de concentration

Radionucléide	Demi-vie (ans)	Type de rayonnement
Plomb 210	19,4	bêta
Radon 222	$1,0 \times 10^{3}$	alpha
Radium 226	$1,6 \times 10^{3}$	alpha, gamma
Thorium 230	$8,0 \times 10^{4}$	alpha
Thorium 232	$1,4 \times 10^{10}$	alpha
Uranium 238	$4,5 \times 10^{9}$	alpha
Polonium 210	0,4	alpha
Uranium 234	$2,5 \times 10^{5}$	alpha
Radium 228	6,7	bêta
Uranium 235	$7,1 \times 10^{8}$	alpha

Source: Muller, 1980.

l'effluent liquide des résidus miniers avant que celui-ci ne puisse être traité et déchargé dans des eaux réceptrices naturelles. La partie liquide des résidus miniers contient aussi d'autres déchets tels que des réactifs chimiques, de l'ammoniac, des nitrates et des sulfates qui ne font pas l'objet d'un traitement particulier à l'emplacement de gestion des déchets.

Autres déchets

L'extraction et la concentration de l'uranium produisent aussi des déchets autres que les résidus miniers; les déblais de roche mises au rebut lors de l'extraction du minerai constituent la portion la plus volumineuse de ceux-ci. Les quantités de déblais de roche varient d'une exploitation minière à l'autre, selon la profondeur du gisement, la pureté du minerai et sa concentration dans la zone exploitée. Les plus grandes quantités de déblais de roche mises au rebut sont produites par les mines à ciel ouvert où il faut parfois enlever jusqu'à dix tonnes de roche pour extraire une tonne de minerai. Ces déblais de roche sont mis en tas quelque part sur le terrain de la mine (W.B. Blakeman, communication personnelle, 1981). On estime qu'une tonne de minerai occupe un volume de 0,375 m³, tandis qu'une tonne de roche extraite occupe un volume de 0,562 m³ (Ministère de l'environnement et Ministère des pêches et océans, 1979). Ce phénomène, que l'on appelle souvent «facteur de faisonnement», nécessite l'utilisation d'une superficie plus grande de terres pour le dépôt des déchets, augmentant ainsi la surface de la zone affectée par l'exploitation minière. Les déblais de roche peuvent poser un problème important lorsqu'ils contiennent de la pyrite sans contenir aucun minéral qui puisse jouer naturellement le rôle de tampon: ils risquent alors de produire des acides et les eaux de ruissellement et d'infiltration environnantes risquent d'entraîner de faibles quantités de matières radioactives ou de métaux lourds dissous. Même les amas de roche inerte peuvent être une source de poussières dans l'air et de matières en suspension dans les eaux de ruissellement.

Dans la catégorie des autres types de déchets se trouvent aussi les eaux de mine, qui comprennent les eaux utilisées pour le forage et pour la réduction de la poussière, les eaux souterraines, ainsi que la pluie et la neige qui s'infiltrent dans les mines. Ces eaux sont normalement contaminées par une ou plusieurs matières suivantes: radioéléments, métaux lourds dissous, et/ou de l'ammoniac et des nitrates provenant du dynamitage. Comme elles sont susceptibles de contenir de l'uranium dissous, il est possible de s'en servir pour la concentration par voie humide et de récupérer l'uranium. Dans certains cas, cependant, ces eaux sont acheminées directement vers le bassin de décantation.

En plus des résidus miniers solides et des eaux usées, les boues des résidus miniers contiennent aussi des réactifs chimiques utilisés lors de la concentration. On estime qu'il faut 80-100 kg de réactifs chimiques pour traiter chaque tonne de minerai dans le cas du procédé par lessivage acide, et 10-12 kg dans le cas du procédé par lessivage alcalin (Moffett, 1977). Les déchets liquides et solides combinés sont pompés vers le site de gestion des déchets, où la plupart des réactifs chimiques se décomposent naturellement.

Taux de production

Les taux de production du minerai d'uranium dépendent de la demande mondiale de produits raffinés. À mesure que les sources de combustibles fossiles s'épuisent ou que leur exploitation devient moins rentable, l'attrait des centrales électronucléaires alimentées à l'uranium augmente. Au Canada, l'augmentation de la demande pour l'intérieur du pays et pour l'export a favorisé un accroissement de la production des mines d'uranium et des usines de concentration existantes, ainsi que l'exploitation de nouvelles mines dans le nord de la Saskatchewan. Le Canada a produit 7 746 tonnes d'uranium raffiné en 1981, dont environ 60 % proviennent de l'Ontario et 40 % de la Saskatchewan (Canadian Mineral Production, 1982).

Depuis l'époque où elles ont été mises en service à la fin des années 40 jusqu'en 1977, les usines de concentration d'uranium ont produit 90,7 millions de tonnes de résidus miniers (Comité consultatif sur les résidus, Commission de Contrôle de l'Énergie atomique, 1978). Si l'on suppose que la production globale des gisements souterrains se maintiendra au seuil de 1978 (16 145 tonnes par jour) et que pour chaque tonne de minerai extrait presque une tonne de résidus miniers sont produits, on peut estimer que la quantité de résidus miniers doublera d'ici 10 ans (CCEA, 1978). Rien qu'à Elliot Lake, qui est la région la plus productive, on estime que d'ici 30 à 40 ans, on aura produit un milliard de tonnes de résidus miniers qui devront être mis en dépôt (CCEA, 1978). À mesure que la demande augmentera, on devra sans doute se contenter de minerais plus pauvres, ce qui fera encore augmenter la quantité de déchets miniers produits lors de la concentration; il faudra donc consacrer des superficies de terres considérables pour la mise en décharge des résidus miniers.

Une exploitation accrue de l'uranium peut aussi se traduire par la production d'un volume accru de déblais de roche à mettre en dépôt, et par des quantités accrues d'eaux de mine et de ruissellement qui, en tant que sources possibles de contamination par des radioéléments et des métaux lourds, devront être captées et traitées. Cependant, ce sont les résidus de concentration qui posent le problème de gestion le plus grave à cause des énormes quantités de déchets qu'ils représentent et de leur longue période d'activité.

Mise en décharge des déchets

Méthodes actuelles

Plusieurs méthodes de décharge des stériles de concentration de l'uranium, ont été proposées dans le but de créer une nouvelle technologie écologiquement acceptable qui permettrait une décharge permanente de ces déchets. Toutes les mines actuellement en exploitation au Canada combinent le bassin de décantation pour l'élimination des matières solides et le traitement des effluents au chlorure de baryum dans des bassins ou des retenues.

L'accès des installations de traitement est interdit au public pour le protéger de la radioactivité. Les installations actuelles sont conçues de façon à assurer un traitement, un confinement et un stockage efficaces des déchets en attendant qu'une méthode de décharge permanente et sûre soit mise au point. Les bassins servent à

séparer les composantes solides et liquides des déchets de concentration, ainsi qu'à la rétention des matières solides. Les installations comportent en fait deux éléments distincts: le bassin de décantation, où les stériles solides de l'usine de concentration s'accumulent; et le bassin de traitement des effluents, qui recueille les précipités du liquide en provenance du bassin de décantation. On recommande une superficie de bassin de décantation de 10 ha pour chaque millier de tonnes de résidus miniers produits par jour. La superficie employée à cette fin varie d'un endroit à l'autre, mais en 1977, les résidus miniers occupaient environ 795 ha (Comité consultatif sur les résidus miniers, Commission de Contrôle de l'Énergie atomique, 1978).

Des précautions appropriées doivent être prises lors de la construction des digues pour retenir les résidus miniers à l'intérieur du bassin. Ces digues sont en général hautes d'environ 20 m, mais il est possible que leur hauteur atteigne 30 m d'ici 30 ans (CCEA, 1978). Le système de dépôt actuellement le plus utilisé au Canada est la retenue dans des réservoirs naturels aménagés dans des vallées, des marais ou des lacs. Des digues sont simplement érigées aux extrémités de la dépression et aux autres points bas, en fonction de la capacité de stockage et de l'aire de décantation requise.

Étant donné que ces bassins de stockage sont habituellement situés dans des dépressions naturelles, ils ont tendance à capter naturellement les eaux de ruissellement. La pluie, les petits ruisseaux et les autres eaux d'écoulement se déversent dans le bassin ce qui augmente le débit total d'eau. Des efforts considérables ont été déployés pour détourner le plus possible ces écoulements et réduire au maximum l'aire de drainage naturelle de ces sites. Toutes les eaux captées par les bassins de décantation sont contaminées de sorte qu'il faut traiter le débordement au chlorure de baryum pour en extraire le radium 226. Une fois que le précipité de sulfate de baryum et de radium s'est déposé sous forme de boue au fond du bassin, l'effluent peut être rejeté dans les eaux de surface s'il est conforme aux règlements fédéraux concernant les effluents liquides des exploitations de mines métalliques et aux normes provinciales équivalentes.

L'utilisation des dépressions naturelles pour constituer des bassins pour résidus miniers fait qu'il est impossible de normaliser les dimensions requises par une installation. La taille des bassins varie en fonction de la longueur, la largeur et la profondeur de la dépression utilisée, aussi bien qu'en fonction de la quantité de stériles devant être mis en dépôt. Toutes les mines d'uranium canadiennes actuelles utilisent la méthode du réservoir naturel ou une version modifiée de celle-ci, mais on envisage actuellement de nouvelles techniques que nous allons maintenant passer en revue.

Méthodes alternatives

En plus de la combinaison bassin de décantation-étang de traitement des effluents, plusieurs autres méthodes ont été proposées pour mettre en dépôt les résidus: remblayage des galeries de mine, stockage dans une mine à ciel ouvert désaffectée, stockage mixte de déblais de roche et de résidus miniers, immersion en eau profonde et empilage ou mise en tas des résidus miniers.

a. Remblayage souterrain

Dans cette méthode, les sables grossiers sont séparés des boues fines et utilisés comme remblai dans les mines souterraines, les boues fines étant acheminées vers le bassin de décantation. Cette méthode nécessite une superficie de terres moindre parce qu'il y a moins de résidus miniers à décharger en surface. Les déchets remblayés dans les mines seraient ainsi composés de résidus grossiers, de déblais de roche et d'additifs tels que du ciment. La radioactivité devrait être très faible de façon à ne pas contaminer les zones de travail. Si les déchets étaient placés dans une mine désaffectée, il faudrait surveiller leurs effets sur le régime des eaux souterraines. Le remblayage a été pratiqué par Eldorado Nucléaire Limitée dans la mine de Beaverlodge en Saskatchewan.

b. Stockage à ciel ouvert

Cette méthode a été proposée pour une mine en exploitation en Saskatchewan, dont l'un des puits assez proche de l'usine de concentration sera bientôt désaffecté. Les résidus seraient probablement déposés, après drainage dans le puit désaffecté, puis, recouverts d'un matériau peu perméable afin de laisser la cavité se remplir d'eau. L'avantage de cette méthode est de permettre de réduire la superficie nécessaire pour recevoir les résidus. L'utilisation d'une région qui a déjà été affectée par les résidus miniers éviterait d'avoir à utiliser un lac de la région pour la décharge de ces résidus et permettrait à ce lac de demeurer à l'état naturel.

c. Immersion en eau profonde

Cette méthode est actuellement étudiée tant par l'industrie que par les organismes de réglementation. Elle consisterait à immerger les résidus miniers au fond d'un lac naturel profond. Cette méthode semble présenter certains avantages. Premièrement, elle satisfait les défenseurs de l'esthétique car les résidus seraient complètement cachés et ne dégraderaient pas le paysage. Deuxièmement, les résidus seraient tôt ou tard recouverts de sédiments par la simple action du processus naturel de sédimentation. Les cours d'eau alimentant le lac charrient en effet des sédiments qui se déposent progressivement sur les résidus accumulés au fond d'un lac. Enfin, la faible teneur en oxygène de l'eau réduirait sensiblement l'oxydation de la pyrite et la formation d'acides. Cette méthode comporte cependant des inconvénients. On connaît très peu de choses sur les réactions à long terme entre les résidus miniers, l'eau et les bactéries qui pourraient proliférer dans un milieu lacustre actif ou inactif, non soumis à une neutralisation continuelle par l'être humain. Au cas ou il faudrait, pour des raisons écologiques, récupérer les résidus, cela s'avérerait très difficile, voire impossible. La possibilité que cette méthode de mise en décharge mette en danger ou endommage l'environnement local est un facteur encore plus important; si le système ne fonctionnait pas comme prévu, les résidus pourraient en effet contaminer toutes les eaux du bassin hydrologique et risqueraient de faire diminuer la valeur économique, esthétique et récréative d'un très grand nombre de terres avoisinantes.

d. Empilage ou mise en tas

Cette méthode consiste à déposer des résidus miniers solides dans un bassin naturel au-dessus du niveau piézométrique ou sur un terrain sec, semblable aux aires actuellement utilisées, à la différence près qu'on empile des résidus fraichement drainés sur des résidus anciens déjà secs. Dans une des exploitations d'Elliot Lake on envisage d'empiler les résidus à l'emplacement des installations actuelles ce qui permettrait d'accroître suffisamment la capacité de stockage pour satisfaire aux besoins futurs jusqu'à la fin du siècle. La mise en tas est aussi une méthode qui permet d'augmenter la capacité de stockage; elle consiste à décharger des résidus épaissis à partir d'un point central à l'intérieur du bassin. Cette méthode ne nécessiterait pas d'énormes digues de terres ni de grands bassins de décantation.

L'intérêt de l'empilage ou de la mise en tas est l'impact relativement réduit sur les terres parce qu'une superficie moindre est utilisée pour stocker les résidus. D'un autre coté la hauteur totale des amas de résidus serait plus grande ce qui nuiraient à l'esthétique du paysage. Il est impossible d'évaluer avec précision la superficie des terres que l'on peut épargner par cette méthode, car elle n'a pas encore été utilisée au Canada.

Impacts

Dans bien des cas d'utilisation l'impact sur les terres n'est pas seulement limité à l'endroit exact ou se fait l'utilisation. L'exploitation minière aura inévitablement un effet considérable sur les terres environnantes. Cet effet, quelquefois appelé «effet de nuisance», a été étudié par Marshall (1982). Cet effet en-dehors du site de la mine a un aspect tangible qui peut être mesuré et des aspects intangibles subtils qui ne sont pas nécessairement visibles ou immé-

diats. Par exemple, l'effet d'une infrastructure de transport (route, chemin de fer) desservant une mine ne se limite pas au seul terrain consacré à la voie de circulation; il faut aussi tenir compte, entre autres, du bruit et de la poussière et de leurs répercussions sur les secteurs avoisinants. La gravité de ces effets est aussi grandement influencée par la perception du public et par l'endroit ou se produit l'impact de sorte qu'ils seront sans doute ressentis plus dans des zones de loisirs que dans des zones commerciales ou industrielles. Les «effets de nuisance» sont certes importants et peuvent agrandir les limites de la zone d'influence d'une mine de plusieurs kilomètres. Cependant, nous nous préoccuperons surtout ici que des terres directement utilisées à des fins minières.

Contrairement aux autres industries minières, l'industrie de l'uranium est fortement réglementée par le gouvernement fédéral. L'organisme fédéral qui a le mandat et l'autorité de donner des permis d'exploitation de l'uranium (extraction, concentration, gestion des déchets et autres opérations liées au cycle du combustible nucléaire) est la Commission de Contrôle de l'Énergie atomique (CCEA). Puisqu'aucun emplacement de gestion des résidus miniers au Canada, qu'il soit ou non en exploitation, ne peut être considéré comme étant «fermé» d'une façon permanente qui ne nécessite pas l'application de mesures correctives pour préserver son intégrité, la CCEA, en consultation avec d'autres organismes de réglementation fédéraux et provinciaux et des membres de l'industrie, a résolu d'établir des «critères de fermeture temporaire». Ces critères définiront la marche à suivre et les conditions à satisfaire pour la fermeture d'installations de gestion de résidus miniers existantes ou futures, de façon à réduire au maximum la nécessité d'une intervention humaine et, par conséquent les dangers pour la santé et l'environnement. Ces critères resteront en vigueur jusqu'à ce que des techniques acceptables de fermeture permanente soient mises au point.

Nous ne pourrons donc identifier ici que les impacts des dépôts de résidus miniers d'uranium tels qu'ils sont aujourd'hui, c'est-à-dire en tant que sites de stockage temporaire contenant des déchets radioactifs de faible activité, mais de longue période. Les conditions actuelles prévaudront à ces sites jusqu'à ce qu'on ait mis au point les critères de fermeture temporaire et, ultimement, des techniques de fermeture permanente.

Le principal problème posé par les résidus miniers d'uranium est l'émission à long terme de rayonnements radioactifs. Le radium et le thorium se désintègrent lentement et mettront environ 100 000 ans pour voir leur radioactivité réduite de moitié; même alors, leur activité sera trop élevée pour qu'on puisse autoriser l'accès public des sites de résidus miniers (Ministère de l'environnement, Ministère des pêches et océans, 1980). Les méthodes actuelles de gestion des résidus concernent d'énormes quantités de résidus couvrant des superficies immenses. L'étendue des dépôts varie suivant les cas et peut aller jusqu'à 160 ha par site (James F. MacLaren Limited, 1977), mais, si on les considère ensemble, ils pourraient occuper en fait une superficie beaucoup plus grande que les 795 ha estimés en 1977 pour le Canada entier. Ces terrains sont actuellement utilisés uniquement pour le confinement des déchets. Dans les régions où l'uranium est exploité à ciel ouvert, ils doivent recevoir, en plus des résidus miniers, d'énormes quantités de déblais de roche dont la mise du dépôt exige de grandes superficies.

Selon les statistiques de 1977, environ 100 millions de tonnes de résidus ont été produits au Canada depuis que l'exploitation de l'uranium a commencé. Elliot Lake, la région la plus productive au Canada, a produit près de 76 millions de tonnes de résidus qui occupent environ 685 ha. À Bancroft, on a déposé 10 millions de tonnes de résidus sur 72 ha, et à Beaverlodge (Saskatchewan), 6,5 millions de tonnes de résidus occupent 9 ha. D'autres sites en Saskatchewan, près du lac Athabasca, contiennent 7,5 millions de tonnes sur 29 ha de terre (Comité consultatif sur les résidus, Commission de Contrôle de l'Énergie atomique, 1978).

Même si les propriétés non radiologiques des résidus miniers, notamment les propriétés des métaux lourds qu'ils contiennent et la nature acide des résidus provenant de certaines régions, peuvent constituer de graves dangers pour la santé et l'environnement, c'est la teneur en radioéléments qui donne le plus d'inquiétude à cause de la très longue période requise pour leur désintégration. Les effets les plus directs sur les terres ou sur les eaux sont dûs à l'infiltration de résidus liquides non traités, au rejet de matières en suspension dans le milieu aquatique environnant ou à la dispersion dans l'atmosphère de particules provenant de la surface non couverte de bassins de décantation asséchés.

Contamination de l'eau

Lors de catastrophes comme la rupture d'un barrage ou de phénomènes naturels comme l'érosion, des résidus solides peuvent s'échapper de leur zone de confinement et polluer les eaux souterraines et les eaux de surface en aval avec des matières inertes, des contaminants radioactifs et des métaux lourds dissous ou en suspension.

La pollution de l'eau par des résidus provenant de réservoirs de retenue était jadis l'un des problèmes les plus graves et les plus répandus posés par le stockage des résidus. Les techniques actuelles de traitement des effluents sont capables d'atténuer considérablement le problème à condition d'être appliquées. Lorsqu'on n'utilise pas les procédés adéquats pour protéger de l'air et de l'eau les résidus miniers se trouvant à l'emplacement des sites désaffectés, ou pour traiter les eaux d'infiltration et de ruissellement contaminées, on peut provoquer une forte contamination des eaux par lessivage des métaux lourds et des matières radioactives contenues dans les résidus grâce à l'effet du ruissellement, des précipités atmosphériques et de la circulation de l'eau souterraine. L'eau peut être aussi polluée par les produits chimiques utilisés dans le traitement de l'uranium. La radioactivité, l'acidité et de fortes concentrations d'ammoniac peuvent détruire l'ensemble d'un écosystème en portant atteinte aux différents éléments qui le composent allant de la photosynthèse du plancton à la pisciculture. Les conséquences de la pollution de l'eau peuvent se faire sentir dans toute la zone du bassin. En aval de la mine, les possibilités d'utiliser l'eau pour d'autres usages pourraient diminuer. Des études additionnelles visant à déterminer si le dépôt des résidus miniers au fond des lacs est sans danger pour l'avenir sembleraient être justifiées.

Impacts physiques

L'impact sur les terres est dû au contact des sols avec l'eau contaminée, à la poussière produite par les résidus miniers lorsque souffle le vent et à la présence même de ces résidus sur des terrains qui pourraient être utilisés à d'autres fins. La contamination de l'eau peut affecter la qualité du sol par une perte des substances organiques et par l'absorption des contaminants dans le sol. La perte de substances organiques peut être imputable au lessivage des ions nutritifs du sol ou à l'augmentation ultérieure de sa salinité. L'érosion par le vent des résidus secs disperse la poussière radioactive sur de grandes distances; le taux de rayonnement de la couche superficielle des sols et terrains adjacents peut en conséquence augmenter sur une épaisseur de quelques pouces. Les résidus peuvent aussi créer un microclimat en modifiant le milieu naturel. La hauteur des terrils de résidus miniers peut modifier le régime des vents et aggraver ainsi le problème de la poussière dans les zones avoisinantes. En fait la superficie de la zone poudreuse est fonction des conditions météorologiques de la région. Ce genre de terrils qui sont exposés au vent peuvent modifier les caractéristiques physiques et chimiques du sol, et nuire à la croissance de la végétation. Les résidus miniers contiennent souvent des micro-éléments nutritifs métallins en quantités suffisantes pour empêcher les plantes de pousser ou même pour les tuer (James F. McLaren Limited, 1978*b*). La végétation existante peut absorber les contaminants et les transmettre à la chaîne alimentaire, multipliant ainsi leurs effets. Dans certaines régions, la contamination du sol par les résidus pourrait empêcher certaines utilisations productives des terres telles que l'agriculture ou l'exploitation forestière, et accroître la superficie de terres inutilisables

bien au delà des limites de l'emplacement des terrils eux-mêmes.

Un autre impact sur les terres résultant de l'extraction et de la concentration de l'uranium est la construction de bâtiments, de routes d'accès et d'autres installations complémentaires. Ces ouvrages bien qu'ils affectent le voisinage, ne devraient pas avoir des répercussions marquées sur l'ensemble de la région. Tant que des méthodes de décharge permanente ne seront pas mises au point, les zones du milieu naturel utilisées pour le dépôt des résidus miniers pourraient bien rester improductives et deviendraient inutilisables à d'autres fins. Des impacts autres que ceux directement imputés aux résidus miniers sont aussi probables. Après la fermeture d'un site, il se peut qu'on ait à recouvrir les résidus d'un matériau quelconque, ce qui signifie qu'il faudra remuer un autre terrain pour en extraire de la terre. On ne connaît pas la grandeur des terres qu'il faudra bouleverser parce qu'on n'a pas encore établi les critères précisant l'épaisseur de la couche de couverture nécessaire pour fermer une installation en permanence. De même, il est impossible de déterminer l'étendue des terres remuées afin de fournir les matériaux destinés à la construction de digues de retenue des résidus, étant donné que les dimensions des digues et les méthodes de construction varient d'un site à l'autre.

La pollution atmosphérique et les terres

En plus de contaminer le sol et l'eau, les résidus peuvent par surcroît polluer l'air. Les amas de résidus miniers non recouverts dégagent du radon, un gaz, provenant de la désintégration du radium 226. Ce gaz est dangereux pour la santé lorsqu'il est inhalé. De plus, tous les endiguements de résidus miniers sont une source de poussière dont certaines particules peuvent être radioactives. De grandes étendues de terres, en plus des endiguements eux-mêmes, peuvent ainsi atteindre des niveaux de contamination pouvant dépasser le seuil du fond naturel de rayonnement (Bearman, 1979). Pour lutter contre les émissions de gaz et les dégagements de poussière, les résidus devront être recouverts d'un matériau inerte probablement un remblai approprié.

Effets sur l'esthétique

Les bassins à stériles conventionnels sont très visibles. Les résidus non couverts ont l'aspect du sable, et les bassins, en raison de leur taille, diminuent la beauté du milieu naturel. Un bassin peut facilement occuper une superficie de 160 ha. Les digues et les remblais peuvent aussi être visibles, mais cela dépend de l'emplacement du bassin. La revégétalisation des dépôts de résidus peut améliorer l'apparence du paysage, quelque soit objectif premier consiste à stabiliser la surface et à réduire la pollution de l'air et de l'eau. Du point de vue de l'esthétique, la meilleure méthode serait sans doute l'immersion en eau profonde. Cependant, l'incidence de cette méthode sur le milieu est encore loin d'être connue.

Dans le nord de la Saskatchewan, ces mêmes considérations s'appliquent aux forts volumes de déblais de roche extraits des mines à ciel ouvert et stockés à la surface du sol.

Effets sur l'utilisation des terres

Les sites de dépôt des résidus miniers et des déblais de roche peuvent, en supplantant d'autres utilisations des terres, empêcher de vastes régions d'être exploitées à d'autres fins.

Les nombreux lacs du nord de l'Ontario, région où sont situés plusieurs sites de dépôts, ont une vocation récréative très prometteuse, notamment pour la pêche sportive, la navigation de plaisance et la chasse. Si des mesures strictes de traitement ne sont pas maintenues, la pollution de l'eau par les sites de résidus miniers pourrait mettre en danger la vocation récréative de plusieurs grands bassins hydrographiques. La nature des résidus miniers d'uranium nécessite l'isolement des aires de stockage jusqu'à ce que la radioactivité des déchets soit descendue au même niveau que le milieu naturel environnant.

Pour citer un exemple, les sites d'exploitation des gisements d'uranium en Colombie-Britannique pourrait soulever d'importantes difficultés quant à l'utilisation des terres. Quatre-vingt-dix pour cent des terrains de la Colombie-Britannique sont en effet montagneux et non arables, avec les dix pour cent restants consacrés à une vaste gamme d'utilisations. La vallée de l'Okanagan contient quelques gisements d'uranium qui sont potentiellement exploitables, mais c'est en même temps une région récréative, habitée et agricole importante avec des zones laissées à l'état sauvage. Ces utilisations peuvent être menacées par les exigences d'une exploitation minière: routes, chemins de fer, nouvelles localités, sans compter les mines et les sites de stockage des résidus eux-mêmes. Étant donné la longue période des radioéléments en question, les grandes surfaces requises pour la gestion des résidus miniers, les microclimats créés en terrain montagneux et la quantité limitée de sol arable en Colombie-Britannique, il est probable que toute proposition d'exploitation de l'uranium dans cette province va susciter une vive opposition et nécessitera une évaluation approfondie des impacts de cette activité sur le milieu.

Remise en état ou réversibilité

La gestion des résidus miniers diffère en principe de celle des déchets de forte activité provenant des réacteurs nucléaires (que nous examinons plus loin). Contrairement aux déchets de grande activité, qui doivent être mis en dépôt dans des formations géologiques profondes, ce qui sous-entend l'acceptation d'une responsabilité envers les générations futures, les résidus miniers d'uranium, quant à eux, n'ont pas suscité les mêmes préoccupations et n'ont que très récemment donné lieu à l'élaboration d'un plan national. Encore tout récemment, on s'est trop peu inquiété des conséquences de la fermeture d'une installation de gestion des résidus miniers; cependant en 1982 le Programme national de recherches sur l'uranium a été inauguré pour mettre au point des techniques de décharge à long terme.

Dans le passé, l'attention se portait surtout sur le traitement des effluents liquides avant leur rejet et par conséquent sur la recherche de méthodes de stabilisation des résidus miniers afin de réduire la quantité des effluents ou d'améliorer leur qualité. Aujourd'hui, on se préoccupe surtout de la stabilisation des résidus miniers soit en s'efforçant de mettre en place une couverture végétale soit en faisant appel à diverses autres techniques. La végétation permettrait de réduire la poussière, l'érosion et les problèmes d'esthétique, et pourrait réduire l'infiltration en diminuant la quantité d'eau pouvant pénétrer dans les résidus. On peut également envisager la stabilisation chimique des résidus miniers dans l'espoir de diminuer l'infiltration et l'érosion, le recouvrement de toute l'aire de stockage d'un matériau imperméable, ou encore l'utilisation d'une méthode de concentration qui réduirait leur teneur en radioéléments. On suppose qu'il sera possible de mettre au point des méthodes acceptables de réhabilitation des dépôts de résidus miniers, qui permettraient de supprimer les interventions humaines ultérieures.

Il est important de souligner qu'actuellement, en l'absence de critères de fermeture ou de décharge appropriés, les résidus miniers doivent être considérés comme étant en stockage contrôlé. L'intervention humaine est toujours nécessaire, même si le but ultime recherché est la décharge permanente à long terme sans surveillance humaine. Tant qu'un système de décharge permanente ne sera pas mis au point, la protection de l'environnement devra se faire par les méthodes actuelles.

DÉCHETS RADIOACTIFS DE GRANDE ACTIVITÉ

L'exploitation d'un réacteur nucléaire produit une certaine quantité de combustible irradié, qu'on appelle généralement, combustible épuisé. Que le combustible épuisé soit rejeté sous sa forme originale ou qu'il soit retraité afin d'en récupérer les constituants utiles, il est désigné sous le terme générique de déchet radioactif de grande activité. Plus de 99 % de la radioactivité

produite par l'exploitation d'une centrale nucléaire proviennent du combustible épuisé (CCEA, 1981). Des trois types de déchets nucléaires, les déchets de grande activité présentent le plus grand danger potentiel pour la population et doivent pour cette raison être mis en décharge d'une manière qui ne présente aucun danger.

Nature et composition des déchets

Le combustible nucléaire, avant d'être introduit dans le coeur du réacteur, est composé de pastilles d'oxyde d'uranium produites dans une raffinerie de combustible à partir de concentré d'uranium provenant des usines de concentration. Les pastilles sont placées dans des tubes de zirconium assemblés en faisceaux de combustible (photo 1). Le zirconium est relativement peu altéré par les radiations et n'affecte presque pas la fission. Chaque tube en zirconium du faisceau de combustible est soudé d'une manière hermétique pour empêcher toutes fuites après quoi le faisceau est placé dans le réacteur. Après une période de douze à dix-huit mois dans le réacteur, les faisceaux de combustible, étant épuisés, doivent être remplacés. Un faisceau de combustible extrait du réacteur est fortement radioactif et dégage de la chaleur.

Le combustible épuisé contient une vaste gamme de radionucléides. Certains ont des périodes relativement courtes: par exemple, celle de l'iode 131 est de huit jours et celle du krypton 85 est de 10,7 ans (tableau 6). D'autres, comme le plutonium qui a une période de 24 400 ans, mettent des milliers, voire des millions d'années à se désintégrer suffisamment pour que leur radioactivité devienne négligeable.

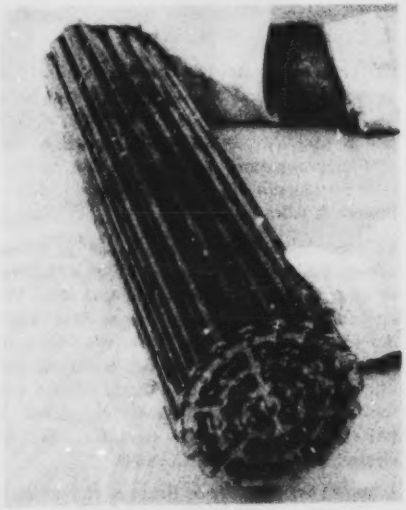


Photo 1. Faisceau de combustible nucléaire.
Laboratoires nucléaires de Chalk River

TABLEAU 6.
Radionucléides importants dans le combustible épuisé des réacteurs CANDU

Radionucléide	Demi-vie (ans)	Principal type de rayonnement
Krypton 85	10,7	bêta, gamma
Strontium 90	28	bêta
Zirconium 93	$1,5 \times 10^6$	bêta, gamma
Technétium 99	$2,1 \times 10^5$	bêta, gamma
Iode 129	$1,7 \times 10^7$	bêta
Iode 131	$2,2 \times 10^{-2}$	bêta, gamma
Césium 135	$2,0 \times 10^6$	bêta
Césium 137	30	bêta, gamma
Neptunium 237	$2,1 \times 10^6$	alpha
Plutonium 239	$2,4 \times 10^4$	alpha
Plutonium 240	$6,6 \times 10^3$	alpha
Plutonium 241	14,6	bêta
Américium 241	433	alpha
Américium 243	$7,4 \times 10^3$	alpha
Combustible épuisé		alpha, bêta, gamma

Source: Muller, 1980.

Ils doivent donc être suffisamment isolés de l'environnement pour ne pas présenter de danger pour l'être humain ou d'autres formes de vie.

De toute évidence, certains de ces éléments présenteront pendant des milliers d'années à venir des risques écologiques considérables.

Taux de production

Chaque réacteur CANDU contient environ 5 000 faisceaux de combustible. Depuis la mise en service du premier réacteur canadien en 1948, jusqu'en 1980, quelque 50 000 tonnes de combustible épuisé ont été produites (Webb, 1980). Environ 770 kg de combustible épuisé sont produits chaque jour par les centrales électronucléaires canadiennes actuellement en exploitation (Clugston, 1980). Ces déchets ont le même aspect physique extérieur que le combustible original, et chaque tonne de combustible épuisé occupe un volume de 2 m³ (Aikin *et al.*, 1977). Même si aucun autre réacteur n'était mis en service d'ici l'an 2000, la quantité totale de combustible épuisé approcherait de 72 500 tonnes et nécessiterait une superficie équivalent à un terrain de football canadien (entre les deux lignes de quinze verges) si elle était empilée sur une hauteur de 45 m (Clugston, 1980). Il est toutefois plus probable que de nouvelles centrales verront le jour d'ici la fin du siècle et que ce total sera dépassé. Les installations de stockage existantes sont capables de recevoir la totalité du combustible épuisé qui sera produit d'ici l'an 2000, mais toute croissance de l'industrie pourrait hypothéquer gravement cette capacité.

Méthodes de stockage actuelles

Le combustible est actuellement stocké dans de grands réservoirs d'eau appelés cuves à combustible (photo 2) à l'emplacement même des centrales nucléaires. Quoique variables, leurs dimensions et leur forme sont voisines de celles d'une piscine olympique; leur profondeur est en moyenne de 8 m. (Aikin *et al.*, 1977). Les faisceaux de combustible épuisé sont placés dans des paniers qui sont empilés au fond de la cuve où ils sont constamment refroidis par un courant d'eau. Cette eau fait en plus office d'écran de protection contre les radiations. L'eau sortant de la piscine est traitée pour en extraire tous les radioéléments qui auraient pu s'y accumuler par contact avec les paniers de combustible épuisé.

Méthodes de décharge proposées

La quantité de combustible épuisé augmentant sans cesse, on cherche de plus en plus activement une méthode permanente de mise en décharge des déchets de grande activité qui n'exigerait aucune surveillance.

Plusieurs de ces méthodes ont déjà été envisagées. Ces méthodes comprennent:

a. Le stockage en surface;
b. L'enfouissement dans les calottes glaciaires de l'Antarctique ou du Groenland;
c. Le lancement des déchets dans l'espace à l'aide de fusées.

On considère maintenant que ces méthodes sont irréalisables. Le stockage en surface a été rejeté parce que les générations futures seraient forcées de poursuivre la surveillance des déchets

Photo 2. Cuve de stockage du combustible, Pickering A.
Hydro Ontario

dangereux que nous aurions laissés derrière nous. En outre, les déchets stockés en surface seraient exposés aux aléas imputables à l'être humain, notamment aux guerres. L'enfouissement dans la calotte glaciaire a été rejeté parce que l'Antarctique est protégé par un traité international qui interdit la mise en dépôt de déchets nucléaires dans cette région, et de plus ni ce continent ni le Groenland ne font partie du territoire canadien. Les glaciers canadiens sont trop petits pour servir à un tel usage. L'utilisation de fusées a été rejetée à cause de leur coût élevé et de la gravité des conséquences en cas d'accident.

Deux autres alternatives intéressent actuellement le monde entier, le dépôt souterrain des déchets scellés dans des contenants appropriés par enfouissement, soit dans les fonds océaniques, soit dans des formations géologiques terrestres.

Le Canada a opté pour la deuxième possibilité et, plus particulièrement, pour le dépôt souterrain des déchets dans les roches cristallines. On se propose d'aménager un lieu de dépôt dans le Bouclier canadien, dans l'Ontario, où seraient acheminés tous les déchets de grande activité produits d'ici l'an 2050. La méthode nécessite l'excavation de galeries de stockage dans de la roche non perturbée du Bouclier. Ces galeries seraient creusées à une profondeur de 500 à 1 000 m dans le roc (Webb, 1980). Les déchets de grande activité seraient ensuite placés dans des contenants scellés, et ces derniers seraient déposés dans l'une des galeries. Une fois l'ensemble des galeries rempli le «cimetière» serait remblayé et les contenants seraient isolés à grande profondeur dans le roc (photo 3).

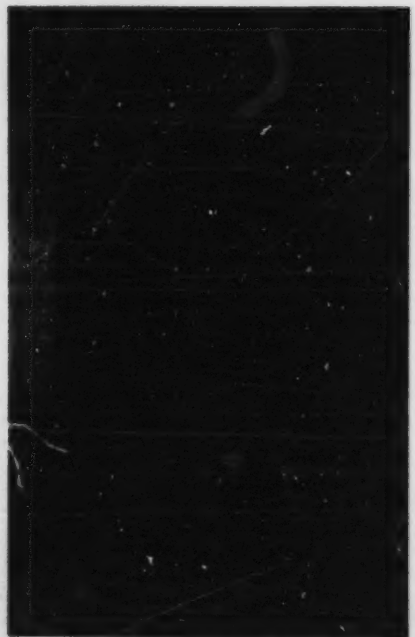


Photo 3. Perspective cavalière d'une installation de stockage souterrain de déchets radioactifs de grande activité.
Énergie Atomique du Canada Ltée.

Le dépôt souterrain est avantageux pour plusieurs raisons. Les formations précambriennes ont été très peu perturbés depuis des millions d'années. On compte y trouver des emplacements où l'écoulement des eaux souterraines est si lent que le transport des substances radioactive par l'eau sera négligeable. Les installations ressembleront à une mine classique, et le «cimetière» peut être aménagé en employant des techniques d'excavation minière actuelles.

Impacts

Installations existantes

Les cuves remplies d'eau qu'on utilise actuellement pour stocker les déchets de grande activité exigent du terrain comme n'importe quel autre ouvrage humain. Leur construction utilise des terres qui ne peuvent être consacrées à d'autres usages et compacte le sol sous le poids de l'ouvrage lui-même et du matériel de construction.

Les cuves de stockage de la centrale de Bruce sont situées sur de la roche solide et des sols organiques qui, d'après l'Inventaire des Terres du Canada, n'ont aucune valeur agricole reconnue. Les terres avoisinantes ont été classées comme étant des terres agricoles, principalement de classe 1, ce qui signifie qu'elles se prêtent à presque toutes les sortes de cultures. La région a peu de valeur récréative, à l'exception de certaines zones isolées le long du rivage du lac Huron où quelques chalets ont été érigés (MEER 1970). La zone tampon de 8 km autour de l'usine d'eau lourde décourage toute activité qui pourrait attirer un grand nombre de personnes dans le secteur. Cette politique de la CCEA a entraîné le déplacement du parc provincial existant à l'extérieur de la zone tampon. On tolère toutefois les exploitations agricoles et les propriétés résidentielles vouées à l'agriculture, qui étaient déjà en place.

Certaines entreprises pouvant tirer profit de la centrale de Bruce ont commencé à s'installer à proximité. Des serres alimentées en eau chaude par la centrale ont été aménagées dans une localité avoisinante. La fermeture de la centrale entraînerait soit la fermeture, soit le déplacement de telles entreprises.

La centrale de Pickering est située en milieu urbain, à 32 km de Toronto, à 20 km d'Oshawa et à moins de 6 km de la ville d'Ajax et du village de Pickering. Le site des cuves de stockage des déchets est situé à l'intérieur des limites de la centrale, sur un terrain qui est classé par l'Inventaire des Terres du Canada comme une terre agricole principalement de classe 1 (ARDA 1967) et comme terre forestière de classe 1 (Environnement Canada).

L'impact des centrales de Bruce et de Pickering sur les terres résulte de l'ensemble des activités d'une centrale nucléaire, et n'est pas dû unique-

ment à la présence de déchets de grande activité. L'existence des deux centrales empêche toute autre utilisation des terres jusqu'à ce que les installations soient fermées et que la radioactivité émise par les ouvrages soit suffisamment faible pour permettre l'exploitation des terres à d'autres fins. Les terres avoisinantes ne sont pas directement affectées par la présence des installations de stockage; mais dans le cas de Pickering, elles subissent l'effet indirect des industries se rattachant au domaine de l'énergie qui ont été attirées dans la région par la présence de la centrale.

Les changements dans le prix et la productivité des terres sont difficiles à mesurer parce que la plus grosse partie de cette région n'était pas exploitée auparavant. Une parcelle de terre donnée peut avoir perdu de sa valeur agricole, mais sa valeur industrielle peut avoir augmenté. Comme les cuves de stockage sont situées à l'emplacement même des centrales, elles nuisent peu à l'esthétique, si ce n'est par la présence de bâtiments. Il est probablement possible de réhabiliter un tel emplacement une fois la centrale fermée et une fois la radioactivité redescendue à un niveau inoffensif.

Installations de dépot souterrain proposées

L'effet des installations de dépôt souterrain proposées se ferait surtout sentir sur le sous-sol, mais aurait peu d'effets durables à la surface du sol. Les effets en surface causés par l'exploitation et les ouvrages, seraient les mêmes que pour toute mine souterraine. Le sol serait débarrassé de sa végétation, puis les installations minières seraient construites, des bâtiments complémentaires érigés et, finalement, la mine elle-même excavée; les déblais extraits seraient empilés à la surface. Pendant l'exploitation de l'installation de dépôt souterrain, le sol ne pourrait servir à d'autres fins et aurait un aspect aride par rapport au paysage environnant. Cependant, aucun de ces effets n'est permanent, puisque, une fois l'exploitation terminée, la mine serait remblayée avec les déblais, les bâtiments démolis et la surface réaménagée si cela s'avérait nécessaire. Le processus est entièrement réversible et présente une excellente possibilité de réhabilitation. Les terres pourraient être utilisées de n'importe quelle façon puisqu'on peut supposer que les déchets radioactifs n'ont aucun effet notable en surface. On ne prévoit aucune restriction d'usage ou d'accès à l'emplacement, mais il est important de noter qu'il s'agit là essentiellement de conjectures, puisqu'aucune installation du genre n'a encore été aménagée. La perception par la population des dangers de la radioactivité pourrait modifier la valeur des terres et entraver leur exploitation, mais le dépôt souterrain lui-même aurait un impact direct minime sur les terres.

ÉTUDE DE CAS: ELLIOT LAKE

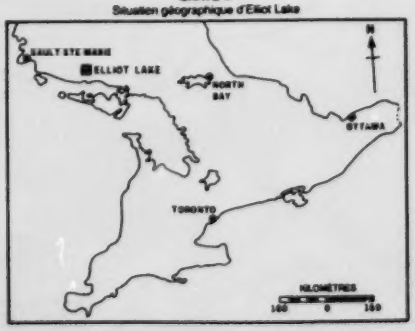
Introduction

Elliot Lake est à l'heure actuelle la principale région productrice d'uranium au Canada. La production canadienne d'uranium en 1981 s'établissait à 4 664 tonnes, dont la plus grande partie provenait des exploitations de la Denison Mines Limited et de la Rio Algom Limited, toutes deux situées à Elliot Lake (Canadian Mineral Production, 1982). L'expansion projetée de ces exploitations permet de conclure qu'elles continueront d'être de grands centres de production de l'industrie canadienne de l'uranium.

On a découvert du minerai d'uranium à Elliot Lake en 1953. La demande d'uranium pour la fabrication d'armes atomiques donna un essor prodigieux à cette région dès les premières années d'exploitation. En quatre ans, de 1955 à 1958, douze mines (dont onze dotées d'usines de concentration) ont été mises en exploitation par sept compagnies différentes. Le gouvernement de l'Ontario ayant décidé, en 1954, qu'une agglomération minière était nécessaire pour servir cette région une ville de plus de 25 000 habitants fut établie, en 1959, au sud du gisement principal, sur la rive est du lac Elliot dans le district d'Algoma (carte 4).

En 1959, la Commission de l'Énergie atomique des États-Unis, principal acheteur de l'uranium produit dans la région, annonçait qu'elle ne renouvellerait pas ses contrats d'achat d'uranium après 1962. Cette décision entraîna la fermeture de la plupart des mines et des usines; seules les mines de Denison et de Rio Algom sont restées en exploitation. Au début des années 60, la population d'Elliot Lake avait décliné et ne comptait plus que 7 000 habitants. La plupart des exploitations initiales ont ensuite été absorbées par la Denison Mines Limited et la Rio Algom Limited, les deux seules compagnies qui n'ont pas cessé de fonctionner depuis cette époque jusqu'à maintenant.

CARTE 4.
Situation géographique d'Elliot Lake



En 1974, la demande d'uranium comme source d'énergie reprit de l'essor, et la Denison Mines Limited ainsi que la Rio Algom Limited décidèrent toutes les deux d'envisager une expansion de leur production. La population d'Elliot Lake est maintenant passée à 18 500 habitants environ; les programmes les plus récents d'expansion de la municipalité prévoyaient une population d'environ 21 000 habitants pour 1982. Cette prospérité apparente n'est menacée que par l'incertitude qui plane sur les contrats futurs de vente de l'uranium à l'étranger.

TABLEAU 7.
Poids des résidus miniers existants (1er janvier 1976)

Mines en exploitation (Compagnie)	Résidus miniers (millions de tonnes)
Long Lake (Denison)	37*
Quirke (Rio Algom)	17,2
Mines non exploitées (compagnie)	
Williams Lake (Denison)	
Stanrock (Denison)	5,5
Lacnor (Rio Algom)	2,7
Nordic (Rio Algom)	12
Panel (Rio Algom)	3,3
Pronto (Rio Algom)	2,1
Spanish American (Rio Algom)	0,45
Crotch Lake (Rio Algom)	7,5
Total	87,75

Source: James F. MacLaren Limited, 1977.

* Jusqu'à la fin de 1980.

Le tableau 7 indique la quantité de résidus miniers produits par chaque mine qui a été exploitée dans la région de Elliot Lake. Un minerai de qualité moyenne contient 0,1 % d'uranium de sorte que, pour chaque tonne de minerai traité, on extrait 1 kg d'uranium et l'on produit 999 kg de résidus miniers. Les résidus miniers indiqués au tableau 7 correspondent à une extraction et une concentration de près de 88 millions de tonnes de minerai.

En 1981, on estimait que quelque 100 millions de tonnes de résidus miniers avaient été produits et mis en décharge sur des sites situés dans le bassin de la rivière Serpent (J.K. Chakravatti, communication personnelle, 1981). Trois des sites de résidus miniers du tableau 7 sont actuellement en service: l'installation de Long Lake de Denison et les exploitations de Quirke et de Panel de Rio Algom, représentent ensemble 67 % de tous les résidus miniers de la région.

Impacts sur les terres

Au début, le choix des sites pour endiguements à stériles était principalement fondé sur des fac-

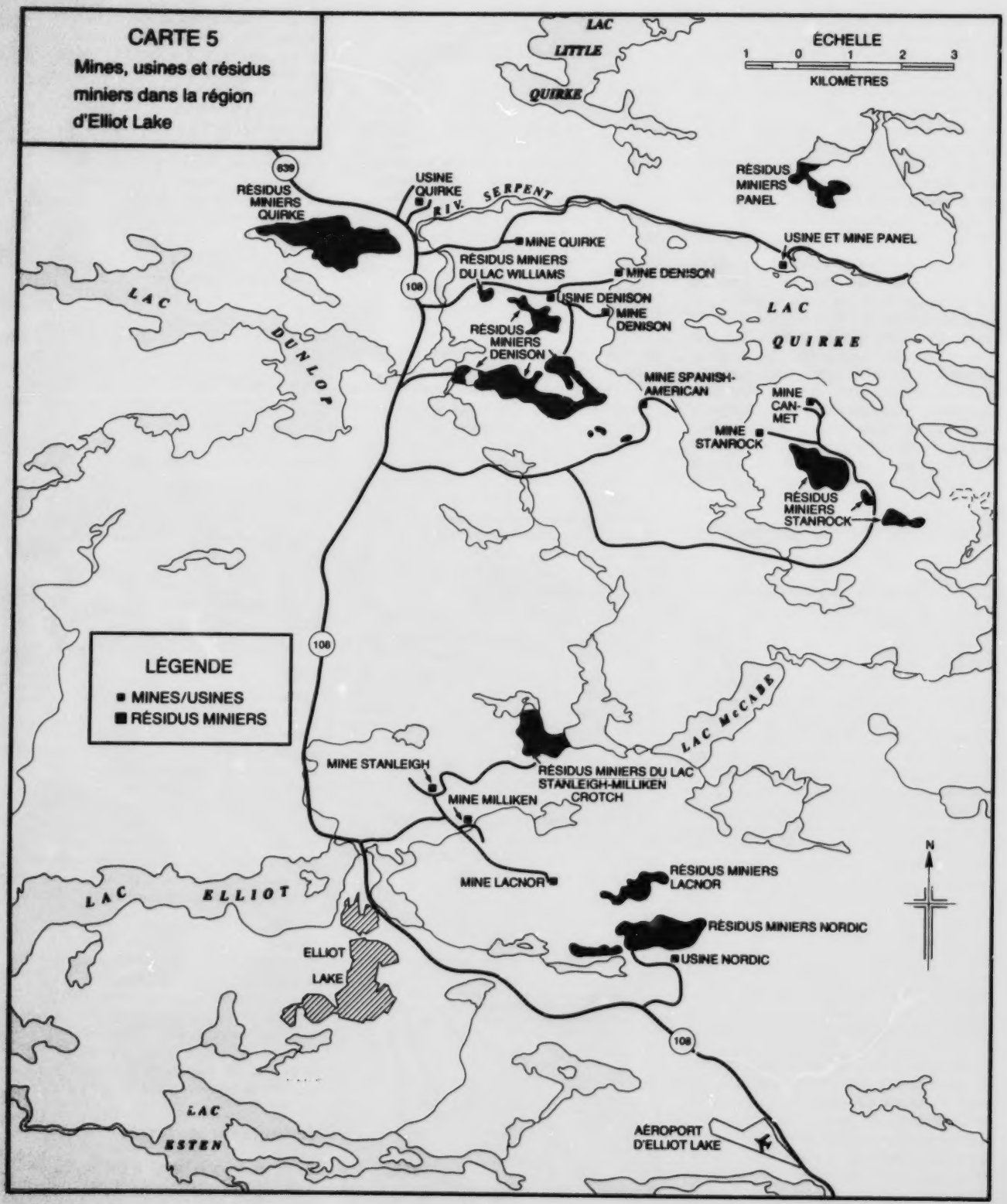

CARTE 5
Mines, usines et résidus miniers dans la région d'Elliot Lake
ÉCHELLE
1 0 1 2 3
KILOMÈTRES
LAC LITTLE QUIRKE
RÉSIDUS MINIERS PANEL
USINE ET MINE PANEL
639
RÉSIDUS MINIERS QUIRKE
USINE QUIRKE
RIV. SERPENT
MINE QUIRKE
RÉSIDUS MINIERS DU LAC WILLIAMS
MINE DENISON
108
USINE DENISON
MINE DENISON
LAC DUNLOP
LAC QUIRKE
RÉSIDUS MINIERS DENISON
MINE SPANISH-AMERICAN
MINE CAN-MET
MINE STANROCK
RÉSIDUS MINIERS STANROCK
LÉGENDE
MINES/USINES
RÉSIDUS MINIERS
LAC McCABE
MINE STANLEIGH
RÉSIDUS MINIERS DU LAC STANLEIGH-MILLIKEN
MINE MILLIKEN
CROTCH
N
MINE LACNOR
RÉSIDUS MINIERS LACNOR
LAC ELLIOT
RÉSIDUS MINIERS NORDIC
USINE NORDIC
ELLIOT LAKE
108
LAC ESTEN
AÉROPORT D'ELLIOT LAKE

TABLEAU 8.
Sites de stockage des résidus miniers (y compris les bassins de décantation)

En exploitation	Superficie (ha)
Denison	75,0
Quirke	160,0
Panel	38,0
Non exploités	
Williams Lake	3,0
Stanrock	65,0
Lacnor	24,0
Nordic	102,0
Pronto	47,0*
Spanish American	10,0
Crotch Lake	52,0
Stanleigh	34,0
Total	610,0

NOTE: Moyennes établies à partir de trois sources: James F. MacLaren Limited, 1977; Dave Murray, communication personnelle, 1981; Kalin, M.A., 1981.

* Résidus miniers de cuivre et d'uranium.

teurs d'exploitation. Le principal objectif consistait à trouver des sites favorables qui parce qu'ils offraient des verroux naturels nécessitaient peu de digues pour retenir les stériles. Lacs et autres dépressions naturelles furent examinés dans ce but. Les sites choisis étaient situés près des usines de concentration de façon à réduire les coûts de transport. Pour protéger l'approvisionnement en eau de la municipalité et de l'usine, ainsi que la santé et le bien-être des habitants et des travailleurs, les endiguements ont été aménagés loin de la source locale d'approvisionnement en eau potable. Tous les sites utilisés ont été choisis au milieu des années 50; ultérieurement, on n'a fait qu'agrandir certains d'entre eux. La carte 5 donne l'emplacement des sites de dépôts de résidus miniers dans la région d'Elliot Lake. Comme les mines d'Elliot Lake sont souterraines, les déblais de roche produits par l'extraction du minerai d'uranium ne posent pas un problème majeur du point de vue de l'utilisation des terres. Les déblais non radioactifs peuvent servir de matériau de construction à la mine même tandis que la roche radioactive doit être placée avec les résidus miniers laissés sous terre ou déposée dans des zones désignées de gestion des déchets. Cette étude de cas va faire ressortir les impacts des résidus miniers puisque ce sont eux qui représentent le plus fort volume et l'incidence la plus importante sur l'environnement.

Dimensions des sites de stockage des résidus miniers

Jusqu'à maintenant, les 100 millions de tonnes de résidus miniers produits par les onze usines de concentration de la région ont été répartis entre neuf sites principaux et deux sites plus petits. Le bassin de la rivière Serpent a une superficie de 1 349 km² et ses eaux se déversent dans le lac Huron. Malgré certaines contradictions dans les statistiques, les régions servant au stockage des résidus miniers d'Elliot Lake occupent environ 610 ha, soit moins de 1 % de la superficie du bassin. Les trois installations en exploitation représentent 40 % de la superficie occupée par les résidus miniers. Le tableau 8 donne les dimensions de chaque site de stockage.

Sur tous ces sites, les résidus miniers sont stockés en surface; il s'agit généralement de dépressions entourées de crêtes rocheuses de faible perméabilité.

Dans la plupart des cas, ces sites comprenaient initialement des petits lacs ou des marais qui furent par la suite comblés avec des résidus miniers ou incorporés à des installations de gestion des résidus miniers en tant que bassins de décantation. Plus précisément, les sites de Williams Lake, Crotch Lake, Denison, Quirke, Lacnor, Spanish American, Panel, Pronto et Stanleigh sont d'anciens lacs, celui de Nordic un ancien marécage, et celui de Stanrock est situé sur une crête. Chacun comporte une ou plusieurs digues artificielles qui complètent la retenue due à la topographie naturelle du bassin.

Les surfaces couvertes par les résidus miniers auraient pu être affectées à d'autres fins, même si on tenait compte du fait que la plus grande partie de la région n'avait jamais été exploitée avant que les mines d'uranium furent ouvertes.

L'utilisation des lacs et de leurs rives pour le stockage des résidus miniers a empêché leur usage éventuel pour les loisirs, la pêche, l'exploitation forestière, l'extraction du sable et du gravier. Toute la région peut servir d'habitat à une faune variée y compris le cerf et l'orignal, ce qui la rend éventuellement propice à la chasse. Les utilisations antérieures de ces terres étaient peu nombreuses. Les prospecteurs travaillant dans la région devaient s'y rendre en avion car aucune route n'y conduisait. Au cours des années 20 et 30, on a exploité assez intensivement le bois des forêts aux environs de l'emplacement actuel de la municipalité de Elliot Lake mais à présent une seule petite entreprise, qui emploie 62 personnes, travaille dans ce domaine (James F. MacLaren Limited, 1977).

Les terres entourant les dépôts de résidus miniers ne sont pas exploitées intensivement parce que la plupart, appartenant à la province, ont été louées par les compagnies minières qui ont préféré de ne pas les mettre en valeur. Toutefois, certaines activités récréatives y sont manifestement possibles: pêche, navigation de plaisance, randonnées en forêt, ski de fond, chasse. Certaines zones présentent des possibilités d'exploitation forestière, mais ne sont pas utilisées à cette fin. Les autres terres avoisinantes sont la propriété de la Couronne, et très peu d'entre elles ont été cédées à des particuliers.

Impact sur l'utilisation des terres

Il est important de noter que l'examen de l'impact des résidus miniers sur les terres dans la région d'Elliot Lake est basé sur la situation

Photo 4. Aire de déversement réhabilité près du site minier de Milliken.
I.G. Redmond

actuelle. Tous les sites de stockage des résidus miniers, qu'ils soient ou non en exploitation, sont toujours entretenus afin qu'ils restent écologiquement stables. Il ne serait pas juste d'extrapoler à partir de la situation actuelle pour évaluer une éventuelle situation future où les opérations d'entretien auraient cessé, et donc de présumer que la stabilité écologique actuelle se maintiendrait d'elle-même.

La plupart des effets sur l'utilisation des terres sont localisés et se font sentir principalement sur l'emplacement des sites de stockage des résidus miniers et sur les terres avoisinantes. Un bon nombre des effets qui se manifestent aujourd'hui dans la région sont le résultat des méthodes du stockage qui furent appliquées il y a 25 ans. Les lacs utilisés pour le stockage ont disparu lorsqu'ils furent comblés avec des résidus. Bien peu de dommages furent subis depuis ce temps; on recueille, surveille et traite les eaux d'infiltration pour s'assurer que les terres avoisinantes ne subiront pas une destruction analogue. Les sites contenant des résidus miniers ressemblent maintenant soit à des déserts blanchis là où le sol n'a pas été réhabilité, et à des prés herbeux lorsqu'une couverture végétale a été mise en place. Les terres recouvertes par les résidus miniers le sont pour toujours et ne pourront jamais être retournées à leur état initial.

D'autres effets localisés sont causés par l'action des phénomènes naturels sur les sites de stockage. Le vent et l'eau jouent un rôle important dans la propagation de la radioactivité et de l'acidité des résidus miniers vers les terres avoisinantes. On a observé que les substances radioactives étaient transportées vers les terres voisines par la poussière soulevée par le vent. Au cours des premières années d'exploitation, les tempêtes de poussière étaient chose courante, mais des modifications aux méthodes d'exploitation ont permis de contrôler presque totalement ce problème. Des taux de rayonnement élèves furent enregistrés dans un rayon de 100 m des résidus miniers. Au delà de cette distance, le niveau de la radiation redescend au niveau émis par le milieu naturel. Les tourbillons de poussière ont tendance à se manifester deux fois par an: au printemps, lorsque la surface des terrils se désagrège sous l'action du gel et du dégel, et en août et septembre lorsque cette surface est agitée par les vents violents qui à cette époque soufflent souvent après les périodes de sécheresse. La mise en végétation des sites non exploités, avec en plus la fixation de la surface des sites en exploitation par l'épandage d'une couche d'herbe et de paille broyées a permis de réduire considérablement la quantité de poussière produite. Comme les terres avoisinantes sont très peu exploitées l'impact de la poussière sur l'utilisation des terres a été négligeable. Si les niveaux de la radiation étaient très élevés, certains types d'utilisation éventuels deviendraient impossibles, mais un effort de réaménagement pourrait atténuer ce problème.

L'infiltration de l'eau à travers les digues de retenue et par les failles et les fractures de l'enrochement sur lesquelles elles sont bâties est une autre source potentielle de contamination des terres avoisinantes. Cependant, en 25 ans, on n'a décelé aucun effet nuisible sur le système local des eaux souterraines. Une telle infiltration pourrait disperser des contaminants sur de grandes surfaces, mais on ne dispose encore d'aucune donnée à ce sujet. Les taux d'infiltration semblent très faibles, ce qui indique que l'effet sur les terres avoisinantes pourrait être minime. Notons de nouveau que la non-exploitation des terres environnantes amoindrit l'effet d'une telle contamination sur l'utilisation des terres. Cependant, si la nappe aquifère est proche de la surface, les eaux souterraines contaminées peuvent s'introduire dans le réseau des eaux de surface.

Les émissions de radon gazeux par les résidus miniers constituent aussi un problème, mais elles n'ont aucun effet sur l'utilisation des terres avoisinantes parce que ces dernières sont des étendues découvertes et le radon a tendance à se disperser rapidement. Cependant, le radon se désintègre en polonium et en plomb radioactifs qui se déposent sur les plantes et le sol.

On note des effets sur la valeur des terres seulement dans les zones éloignées des résidus. Comme la plupart des terres dans l'entourage immédiat des résidus appartiennent à la Couronne ou sont louées à long terme par les compagnies minières, leur valeur est restée inchangée. Les résidus sont situés trop loin des terres exploitables pour avoir un effet tangible, même si les terres situées sur le pourtour du bassin hydrographique affecté pourraient perdre de leur valeur récréative; on trouve en effet quelques chalets dans ce bassin. Les effets sur la valeur marchande des terres dépendent plus de la crainte inspirée à la population par la radiation que de n'importe quel changement physique apporté aux terres.

La localité dès son origine fut établie à un endroit assez éloigné des résidus. Le choix de dépressions, marécages et lacs comme emplacements pour les dépôts utilise des terres qui ne pouvaient pas servir à l'expansion de la municipalité.

L'impact visuel des résidus dans la région d'Elliot Lake varie selon que le site est en exploitation ou non. Les sites de stockage en activité ressemblent à des lacs entourés de déserts de sable, parce que les dépôts autour des bassins de décantation ont l'apparence de tas de sable qui en séchant, se fissurent sur la périphérie des bassins de décantation. Très peu de végétation pousse sur les résidus car ils sont en général trop acides, ne contiennent pas assez de substances nutritives et ne retiennent pas assez d'humidité nécessaire à la croissance des plantes. Une grande partie de zones actives sont recouvertes d'une couche d'herbe broyée destinée à retenir l'humidité et à empêcher la poussière de voler et ressemblent à des champs d'herbe fraîchement coupée. Les sites abandonnés sur lesquels une couche de végétation a été mise ressemblent à des champs d'herbe, les résidus étant ainsi très efficacement camouflés. Toutefois, peu de sites inactifs dans la région d'Elliot Lake ont été recouverts de végétation. On peut aussi recouvrir les résidus de chaux et d'engrais, ou encore d'une couche de terre. Quoi

Photo 5. Aire d'épandage des résidus miniers de Stanrock.
I.G. Richmond

Photo 6. Travaux en cours sur les résidus miniers.
I.G. Redmond

qu'il en soit, on ne sait pas si l'on pourra un jour arrêter les mesures d'entretien sans mettre en danger l'environnement des sites réhabilités. Les sites non réhabilités sont similaires aux sites actifs et ressemblent à des déserts. Les portions les plus visibles de tout lieu de stockage de résidus, qu'il soit actif ou inactif, sont les digues. Leur hauteur peut atteindre 10 m et l'on peut nettement les voir à partir des terres avoisinantes.

Utilisations futures des terres

Utilisations à court terme

Des employés entretiennent quotidiennement les sites de stockage des résidus qui sont encore en exploitation à Elliot Lake et aménagent de nouvelles zones de retenue. Plusieurs autres activités ont vu le jour sur les parties non exploitées des sites. Comme les curieux peuvent s'y promener librement et qu'aucun panneau d'avertissement n'en interdit l'accès, ils ont été utilisés pour le camping, pour la course en véhicule tout terrain et en motocyclette et pour le ski de randonnée. À l'emplacement de Nordic, un club d'Elliot Lake a aménagé un champ de tir. En outre, cet emplacement a déjà été utilisé temporairement comme aéroport pendant la réfection de l'aéroport local. Aucune de ces utilisations n'exige toutefois la construction d'ouvrages permanents. On effectue actuellement des études pour déterminer si un site inactif, comme celui de Nordic, pourrait servir de site de décharge contrôlée pour la municipalité d'Elliot Lake.

Une zone de déversement des résidus près de la mine de Milliken a été draguée, nettoyée, et mise en végétation; on y a aménagé deux terrains de baseball, un terrain de soccer et un parc d'équitation. Il ne serait probablement pas pratique d'appliquer une telle méthode à la surface complète d'un site de stockage de résidus.

Utilisations à long terme

La nature radioactive des résidus étant bien connue il est généralement admis qu'aucun bâtiment permanent ne pourra être autorisé sur un dépôt. Aucune décision à long terme n'a été prise quant à l'utilisation des terres, mais plusieurs idées ont été suggérées.

Ceux qui considèrent la radioactivité comme un problème mineur pensent que les dépôts pourraient être utilisés à des fins productives. Au cours des premières années d'exploitation, les résidus miniers furent utilisés pour la construction de routes et de parcs de stationnement, parce que leurs propriétés étaient semblables à celles du sable, mais maintenant de telles utilisations ne sont plus approuvées. On a suggéré de reboiser les zones de dépôt des résidus à des fins d'exploitation forestière. Le potentiel agricole de ces zones, une fois recouvertes d'une couche de terre végétale, peut être important. Si cela était jugé économiquement rentable, ce qui est douteux, on pourrait faire pousser sur les résidus toute culture appropriée au climat de la région d'Elliot Lake. Il faudrait dans ce cas, avant de mettre à l'essai ce mode d'utilisation, étudier soigneusement la possibilité d'une absorption de contaminants par la végétation. Même si ces utilisations s'avéraient productives, elles pourraient cependant être interdites par la Commission de Contrôle de l'Énergie atomique. Il faudrait de plus surmonter les craintes du public à l'endroit des radiations avant que toute utilisation productive ne soit véritablement acceptée.

À court terme, le stockage des résidus miniers accompagné d'un entretien continu et du traitement des effluents assurera la protection de l'environnement. Dans un avenir plus ou moins rapproché, on découvrira sans doute si le stockage suffit ou si une élimination permanente des résidus est indispensable; ce n'est qu'alors qu'on pourra définir avec précision les effets à long terme de ces déchets sur l'utilisation des terres, tant à Elliot Lake qu'aux autres sites de décharge du Canada. L'adoption de critères officiels de fermeture des mines sera un pas dans cette direction.

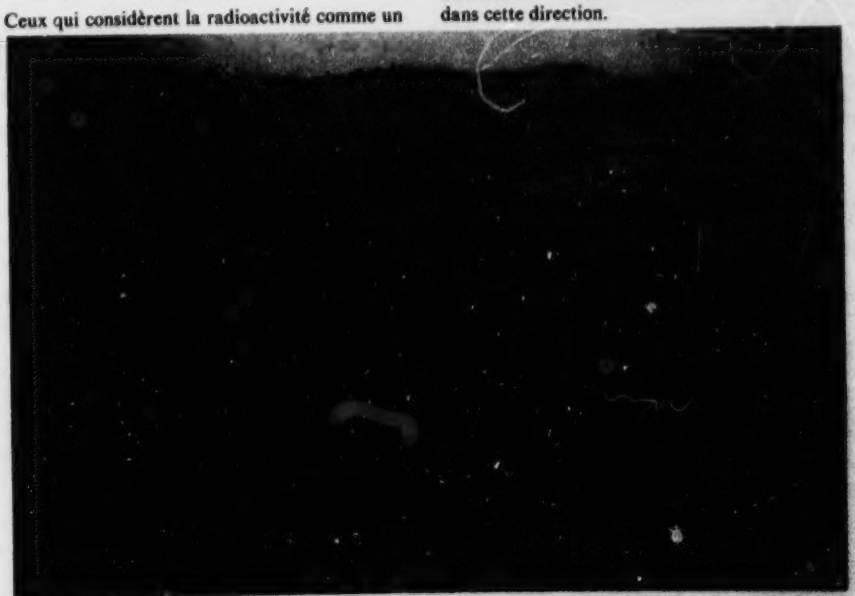


Photo 7. Résidus miniers.
I.G. Redmond.

GLOSSAIRE

Combustible épuisé: Combustible irradié qui a été extrait du noyau du réacteur.

Concentré d'uranium: Produit final d'une usine de concentration d'uranium; c'est un concentré d'uranium semi-raffiné extrait du minerai d'uranium brut.

Curie: Unité de mesure de la radioactivité, égale à la quantité de matière radioactive dont le nombre de désintégrations par seconde est $3,7 \times 10^{10}$.

Cycle du combustible: Ensemble des étapes de transformation nécessaires pour approvisionner des réacteurs nucléaires en combustible: extraction et raffinage du minerai, fabrication du combustible, utilisation dans le réacteur, gestion du combustible épuisé et des déchets radioactifs.

Débris de roche: Toute roche extraite d'une mine et ne renfermant pas le métal recherché, ou en contenant trop peu pour avoir une quelconque valeur économique.

Déchet radioactif: Toute substance contenant des radionucléides ou contaminée par des radionucléides dont la concentration est supérieure à un seuil jugé acceptable pour être utilisé ou mis en circulation sans contrôle, et pour laquelle on ne prévoit aucun usage.

Déchets de faible activité: Déchets radioactifs solides contaminés comprenant de la machinerie, des gants, des tabliers, des tissus, du papier, etc.

Déchets de grande activité: Combustible épuisé d'un réacteur.

Demi-vie: Voir «période».

Eaux souterraines: Eaux gisant ou coulant sous la surface du sol.

Fission: Éclatement d'un noyau d'atome lourd en deux parties presque égales, avec libération d'une grande quantité d'énergie et, généralement, d'un ou plusieurs neutrons. La fission peut être spontanée, mais elle est habituellement déterminée par un bombardement de rayons gamma, de neutrons ou d'autres particules.

Gestion des déchets radioactifs: Toute opération de manipulation, de stockage et d'élimination de déchets radioactifs.

Lessivage: Procédé chimique utilisé en usine pour extraire les minéraux utiles d'un minerai; aussi, processus naturel par lequel les eaux souterraines dissolvent des minéraux, réduisant ainsi la teneur en certains minéraux de la roche.

Mise en décharge: Confinement des déchets radioactifs de façon à les séparer de la biosphère en permanence sans qu'ils nécessitent de surveillance ultérieure.

Noyau d'un réacteur: Partie d'un réacteur nucléaire contenant le combustible nucléaire.

Période: Période à la fin de laquelle la moitié des atomes d'une substance radioactive donnée se sont désintégrés en une autre forme nucléaire. Également appelée «demi-vie».

Radionucléide: Noyau qui subit une désintégration radioactive.

Radiation naturelle (fond de): Radiation dans le milieu naturel de l'être humain provenant d'éléments radioactifs naturels et de radiation cosmiques.

Remblayage (matériaux de): Roches ou autres matériaux utilisés pour le remplissage des galeries d'une mine ou le soutien de ses parois.

Résidus miniers: Rejets d'une usine de concentration après extraction des minéraux utiles.

Roche ignée: Roche formée par la solidification de matières en fusion.

Site de gestion des déchets: Emplacement sur lequel sont érigées des installations de gestion des déchets radioactifs. S'il est situé à l'intérieur des limites d'une autre installation nucléaire, il comprend seulement la superficie réservée à la gestion des déchets radioactifs.

Solution stérile: Solution dans une exploitation d'uranium qui a traversé la colonne échangeuse d'ions et qui est donc «stérile» en uranium.

Stockage: Confinement temporaire de déchets radioactifs, en attendant qu'une méthode d'élimination permanente soit mise au point.

Uraninite: Minéral uranifère contenant un fort pourcentage d'oxyde d'uranium.

BIBLIOGRAPHIE

Agricultural Institute of Canada. 1981. «Statement on Energy Policy». Agrologist. Vol. 10, nº 2, pp. 29-32. Agrican Publishers Inc. Ottawa (Ontario).

Aikin, A.M.; Harrison, J.M.; et Hare, F.K. (président). 1977. The Management of Canada's Nuclear Wastes. Étude réalisée à contrat pour le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Approvisionnement et Services Canada, Ottawa (Ontario).

ARDA. 1967. Soil Capability for Agriculture: Canada Land Inventory, Bruce 41A. Imprimeur de la Reine. Ottawa (Ontario).

Atkinson, J.M. 1979. Site Selection for a Hazardous Waste Management Facility. Préparé pour le Hazardous Waste Management Seminar par l'Environmental Analysis Division, Reid, Crowther & Partners Limited.

Bearman, P.J. 1979. «A Review of the Environmental Problems Associated with the Disposal of Uranium Tailings.» Minerals and the Environment. Vol. 1, pp. 64-67. Science and Technology Letters. Kew, Surrey, Angleterre.

Blakeman, W.B. 1979. Management of Uranium Mine/Mill Wastes. Rapport non publié préparé en vue du colloque sur l'industrie nucléaire du SPE par la Division des mines et de la métallurgie, Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, Environnement Canada. Ottawa (Ontario).

Boulton, J. éd. 1978. Management of Radioactive Fuel Wastes: The Canadian Disposal Program. Compagnie de recherche d'Énergie atomique du Canada, Énergie atomique du Canada Limitée, Établissement de recherche nucléaire de Whiteshell. Pinawa (Manitoba).

_____. 1981. «Nuclear Energy: A Credible Energy Source.» CIM Bulletin. Vol. 74, nº 836, pp. 89-95. Institut canadien des mines et de la métallurgie. Montréal (Québec).

Bragg, K. 1980. Long Term Aspects of Uranium Tailings Management; An AECB Discussion Paper on Proposed Interim Close-Out Criteria. Commission de contrôle de l'énergie atomique.

«Canadian Mineral Production.» 1982. Canadian Mining Journal. Vol. 103, nº 3, pp. 32-33. Southam Business Publication. Don Mills (Ontario).

Clugston, Michael. 1980. «The Deadly Corpse of Nuclear Power.» MacLean's. Vol. 93, nº 35, pp. 46-47. Maclean-Hunter Limited. Toronto (Ontario).

Cohen, Bernard L. 1977. «The Disposal of Radioactive Wastes from Fission Reactors.» Scientific American. Vol. 236, nº 6, pp. 21-31. Scientific American Inc. New York (New York).

Colombie-Britannique. 1980. Royal Commission of Inquiry, Health and Environmental Protection, Uranium Mining. Vol. 1 à 3. Queen's Printer. Victoria (C-B).

Comité consultatif sur les résidus, Commission de contrôle de l'énergie atomique. 1978. The Management of Uranium Mill Tailings - An Appraisal of Current Practices. CCEA-1156. Ottawa (Ontario).

Commission de contrôle de l'énergie atomique. 1981. Proposed Regulatory Guide: Long Term Aspects of Uranium Tailings Management. Document consultatif. Commission de contrôle de l'énergie atomique. Ottawa (Ontario).

_____. 1978. Shallow Burial Facilities for Storage of Low Level Radioactive Wastes. Document d'attribution de licence nº 23A, projet nº 3, Commission de contrôle de l'énergie atomique. Ottawa (Ontario).

Doern, G. Bruce. 1977. The Atomic Energy Control Board: An Evaluation of Regulatory and Administrative Processes and Procedures. Préparé pour la Commission de réforme du droit. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa (Ontario).

Duckworth, H.E., *et al.* 1977. Aspects écologiques du développement de l'énergie nucléaire au Canada. Conseil consultatif canadien de l'environnement. Étude nº 2. Ottawa (Ontario).

Eldorado Nucléaire Limitée. 1979. Environmental Impact Statement for a Uranium Refinery in Corman Park R.M. Saskatchewan, July 1979. Eldorado Nucléaire Limitée. Toronto (Ontario).

Énergie, Mines et Ressources Canada. 1981*a*. L'Énergie électrique au Canada 1980. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa (Ontario).

_____. 1981*b*. L'Énergie (Rétrospection). Approvisionnements et Services Canada. Ottawa (Ontario).

Énergie, Mines et Ressources Canada. 1982. The Development of an Assessment Methodology for the Near Surface Disposal of Radioactive Waste. Rapport non publié préparé par James F. MacLaren Limited. Ottawa (Ontario).

Environmental Assessment Board. 1979. The Expansion of the Uranium Mines in the Elliot Lake Area. Final Report. Queen's Printer for Ontario. Toronto (Ontario).

Environmental Council of Alberta. 1980. Hazardous Waste Management in Alberta. Environment Council of Alberta. Edmonton (Alberta).

Gouvernement du Canada. 1970. Loi sur le contrôle de l'énergie atomique. Imprimeur de la Reine. Ottawa (Ontario).

_____. 1974. «Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique». Gazette du Canada - Partie II. Vol. 108, nº 12, pp. 1783-1802. Imprimeur de la Reine. Ottawa (Ontario).

Grammer, Elisa J. 1981. «The Uranium Mill Tailings Radiation Control Act of 1978 and NRC's Agreement State Program.» Natural Resources Lawyer. Vol. XIII, nº 3, pp. 469-522. American Bar Association. Chicago (Illinois).

Haussmann, F. Christof, et Whitehead, J. Rennie. 1980. Environmental and Health Implications of Electric Energy in Ontario. The Report of the Royal Commission on Electric Power Planning. Queen's Printer of Ontario. Toronto (Ontario).

Hickling-Partners Inc. 1981. A Management Agency for Low Level Radioactive Wastes: Outline for Discussion. Prepared for the Senior Advisor, Uranium and Nuclear Energy.

Hydro Ontario. 1978. Bruce Nuclear Power Development Radioactive Waste Storage Site 2 - State 3: Safety Report. Rapport présenté à la Commission de contrôle de l'énergie atomique. Hydro Ontario. Toronto (Ontario).

James F. MacLaren Limited. 1977. Environmental Assessment of the Proposed Elliot Lake Uranium Mines Expansion: Volume 1, Background Information. James F. MacLaren Limited, Consulting Engineers, Planners and Scientists. Willowdale (Ontario).

_____. 1978*a*. Environmental Assessment of the Proposed Elliot Lake Uranium Mines Expansion: Volume 2, Background Information Update. James F. MacLaren Limited, Consulting Engineers, Planners and Scientists. Willowdale (Ontario).

_____. 1978*b*. Environmental Assessment of the Proposed Elliot Lake Uranium Mines Expansion: Volume 4, Environmental Assessment. James F. Maclaren Limited, Consulting Engineers, Planners and Scientists. Willowdale (Ontario).

Kalin, M.A. 1981. Long-Term Ecological Behaviour of Abandoned Uranium Mill Tailings. Rapport préliminaire non publié en voie de préparation pour le ministère de l'Environnement par l'Université de Toronto. Toronto (Ontario).

Lipschutz, Ronnie D. 1980. Radioactive Waste: Politics, Technology, and Risk. Ballinger Publishing Company. Cambridge (Massachusetts).

Macbeth, P.J. *et al.* 1979. Evaluation of Alternative Methods for Disposal of Low-Level Radioactive Wastes. Préparé pour l'U.S. Nuclear Regulatory Commission par Ford, Bacon & Davis Utah Inc., Salt Lake City (Utah).

Martin, H.L. *et al.* 1977. Uranium Resource Evaluation. Documents présentés a l'International Atomic Energy Agency Advisory Group Meeting on Evaluation of Uranium Resources, Rome, Italie, 29 novembre - 3 décembre 1976. Énergie, Mines et Ressources Canada. Approvisionnement et Services Canada. Ottawa (Ontario).

Marshall, I.B. 1982. Mines, utilisation des terres et environnement, I, Un aperçu général au Canada. Série sur l'utilisation des terres, n° 22. Direction générale des terres, Environnement Canada. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa (Ontario).

McCarthy, Gregory J., éd. 1979. Scientific Basis for Nuclear Waste Management. Vol 1: «Proceedings of the Symposium on Science Underlying Radioactive Waste Management», Materials Research Society Annual Meeting, Boston (Massachusetts). New York (New York).

Ministère de l'Environnement et ministère des Pêches et Océans. 1979. Brief presented to the British Columbia Royal Commission of Inquiry Health and Environmental Protection: Uranium Mining. Pêches et Environnement Canada, Service de la protection de l'environnement. Ottawa (Ontario).

_____. 1980. Brief presented to the British Columbia Royal Commission of Inquiry Health and Environmental Protection: Uranium Mining. Phase VI. Service de la protection de l'environnement, ministère de l'Environnement, Région du Pacifique, Environnement Canada, Pêches et Océans Canada. Ottawa (Ontario).

Ministère de l'Environnement. Land Capability for Forestry: Canada Land Inventory. Information Canada. Ottawa (Ontario).

Ministère de l'Expansion économique régionale. 1970. Land Capability for Recreation: Canada Land Inventory. Imprimeur de la Reine. Ottawa (Ontario).

Moffet, D. 1977. The Disposal of Solid Wastes and Liquid Effluents from the Milling of Uranium Ores. Programme de recherche minière, Laboratoires de recherche minière, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, Énergie, Mines et Ressources Canada. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa (Ontario).

Muller, E.F. 1980. Guidelines for the Preservation of Environmental Quality with Regard to the Management of Radioactive Wastes, Internal Document. Division des programmes nucléaires, Service de la protection de l'environnement, ministère de l'Environnement. Ottawa (Ontario).

Murray, D. et Moffett, D. 1977. «Vegetating the Uranium Mine Tailings at Elliot Lake, Ontario.» Journal of Soil and Water Conservation. Vol. 32, n° 3, pp. 171-174. Soil Conservation Society of America. Ankeny (Iowa).

Northrup, Clyde J.M. Jr., éd. 1980. Scientific Basis for Nuclear Waste Management. Vol. 2 Plenum Press. New York (New York).

Paehlke, Robert C. 1979. «Canada: Three Nuclear Inquiries Conclude.» Environment. Vol. 21, n° 4, pp. 4-5, 43. Helen Dwight Reid Educational Foundation. Washington (D.C.).

Richardson, J., et Lee, D.A. 1979. Activity Measurements at a Waste Volume Reduction Facility. Rapport à l'intention d'Hydro-Ontario. Centrale nucléaire de Bruce, Hydro Ontario. Tiverton (Ontario).

Schmidt, J.W. et Moffett, D. 1979. Overview of Canadian Environmental Research in the Uranium Mining Industry. Rapport non publié présenté au «Uranium Mining and the Environment Seminar» de la BCWWA et de la FACE. Vancouver (Colombie-Britannique).

U.S. Atomic Energy Commission, Fuels and Materials, Directorate of Licensing. 1974. Environmental Survey of the Uranium Fuel Cycle. U.S. Atomic Energy Commission. Washington (D.C.).

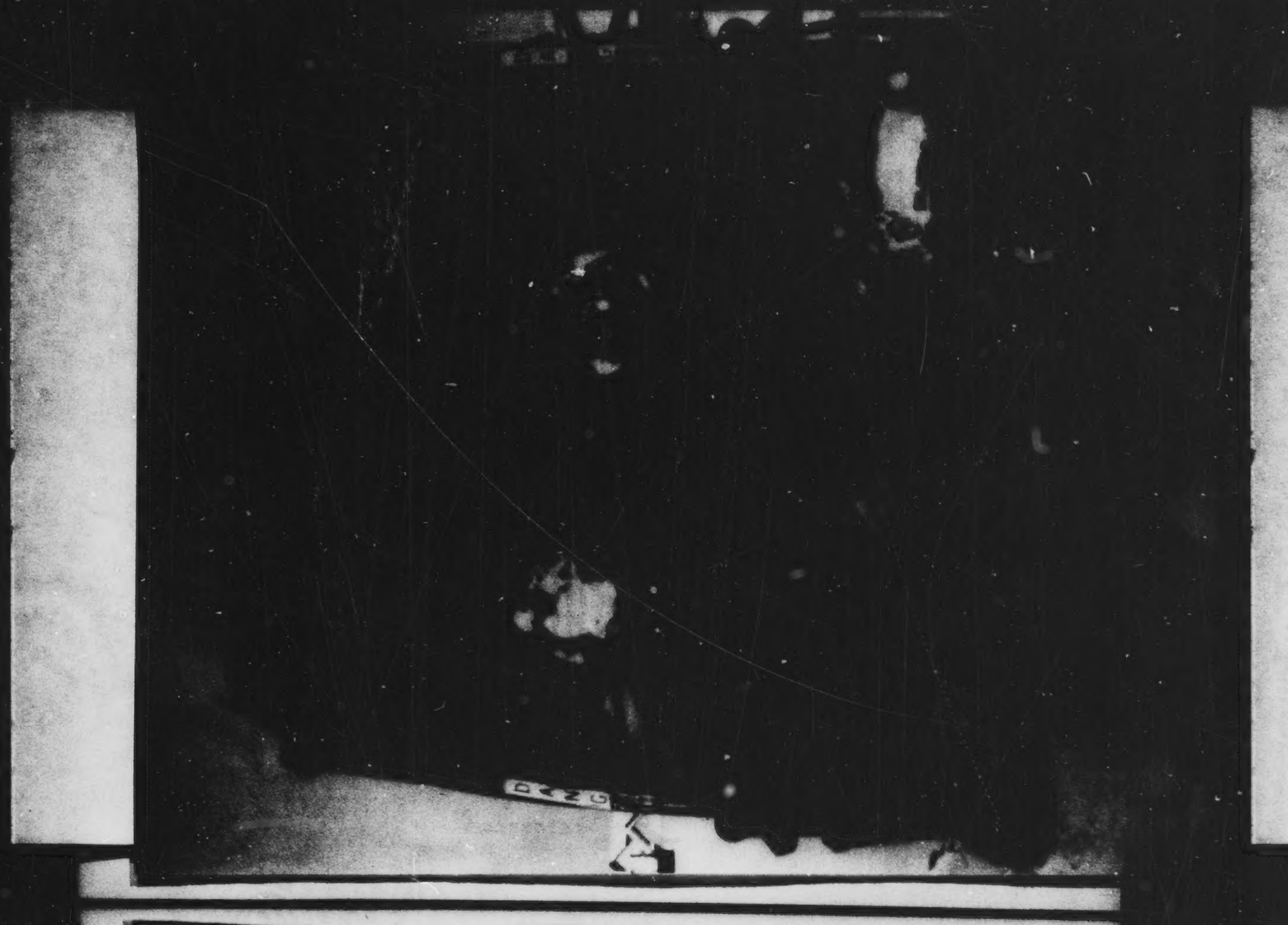
Vivyurka, A.J. 1975. Rehabilitation of Tailings Areas of Uranium Mines. Rapport non publié présenté aux Canadian Mineral Processors. Ottawa (Ontario).

W&W Radiological and Environmental Consultant Services, Inc. 1978. Monitoring Program Design Recommendations for Uranium Mining Localities. Préparé pour la Direction des activités fédérales, Direction générale du contrôle des incidences environnementales. Service de la protection de l'environnement, ministère de l'Environnement. Ottawa (Ontario).

Ward, Peter. 1981. «Canada's Constitutional Dilemna». Britannica Book of the Year 1981. Encyclopedia Britannica Inc. Chicago (Illinois).

Webb, Ken. 1980. «Why Nuclear Energy? and Is It Safe Enough?» Canadian Geographic. Vol. 100, n° 4, pp. 52-57. The Royal Canadian Geographical Society. Ottawa (Ontario).

Williams, R.M. 1978. Perspective des besoins mondiaux en uranium. Secteur de l'énergie, Énergie, Mines et Ressources Canada. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa (Ontario).



LES DÉCHARGES CONTRÔLÉES ET LEURS INCIDENCES SUR LES TERRES

Ruth McKechnie, Wendy Simpson-Lewis et V. Neimanis*

* *Les auteurs sont agents de recherche à la Direction générale des terres, Environnement Canada, à Ottawa (Ontario).*

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	37
De quelle façon le terrain se dégrade-t-il?	38
Échelle	39
Avantages et inconvénients	42
Types de décharge contrôlée	42
Législation	43
INCIDENCES DES DÉCHARGES CONTRÔLÉES SUR LES TERRES	46
Incidences directes	46
Modification du paysage	46
Utilisation des terres	46
Valeur des terres	48
Conséquences connexes	49
Percolat	49
Méthane	50
Considérations sociales: facteurs humains	53
Considérations visuelles et esthétiques	53
Remise en état et utilisation finale	56
FACTEURS À CONSIDÉRER LORS DU CHOIX DE L'EMPLACEMENT D'UNE DÉCHARGE CONTRÔLÉE	59
Considérations physiques	59
Topographie	59
Climat	59
Hydrologie	60
Matériaux de couverture	60
Géologie	60
Besoins du terrain	60
Étapes conduisant à l'aménagement d'une décharge contrôlée	61
Facteurs à considérer	61
Choix de l'emplacement	61
Conception et plan d'aménagement	62
Autorisation	62
Préparation de l'emplacement	62
Résumé	63
ÉTUDES DE CAS	63
Parc Kil-Cona de Winnipeg: une conception originale	63
Étude du cas de la décharge contrôlée de Keele Valley	66
Introduction	66
Historique	69
Appendice I	72
Étude du cas de la décharge contrôlée régionale de la route 101	
Introduction	72
Description de l'emplacement	74
Exploitation et gestion de la décharge	76
Utilisation des terres	78
Résumé et conclusion	80
GESTION DES DÉCHETS DANS LE NORD DU CANADA	81
Introduction	81
Définition du Nord	82
Peuplement du Nord par l'homme	83
Élimination des déchets	83
Gestion des déchets dans les Territoires du Nord-Ouest	83
Gestion des déchets dans le Yukon	86
Gestion des déchets ailleurs dans le Nord	88
Résumé	88
REMERCIEMENTS	89
BIBLIOGRAPHIE	90

CARTES

1. Emplacement de la décharge de Keele Valley 67
2. Décharge contrôlée de Halifax-Dartmouth – carte de base 75
3. Emplacement de la décharge contrôlée de la route 101 et zones d'activité 75
4. Contrôle des eaux superficielles 75
5. Échelonnement des activités de décharge 75
6. Collecte et traitement du percolat 79
7. Système de mise à l'air libre du méthane 79
8. Étendue du pergélisol dans le Nord canadien 82
9. Localités choisies des Territoires du Nord-Ouest 84
10. Localités choisies du Yukon 86

FIGURES

1. Événements marquants dans l'histoire de l'élimination des déchets 38
2. Toronto métropolitain: décharge contrôlée et population totale - 1971-1981 38
3. La technique de surface 42
4. La technique de la tranchée 42
5. La technique du talus 43
6. Plan d'une décharge contrôlée 63

TABLEAUX

1. Statistiques nationales sur les décharges contrôlées 39
2. Volume moyen de déchets produits par habitant en 1980 dans 38 municipalités de l'Ontario 39
3. Avantages et inconvénients de la décharge contrôlée 40
4. Lois provinciales relatives aux décharges contrôlées 44

INTRODUCTION

La gestion des déchets ne consiste pas, simplement, à déposer une poubelle au bord du trottoir bien que, pour la majorité d'entre nous, le problème soit résolu comme par enchantement une fois que le camion de collecte a tourné le coin de la rue. Il est rare que les gens se demandent ce qui se passe après, alors qu'en fait le ramassage n'est que la première étape du processus d'élimination de toutes les choses dont nous ne voulons plus. Où vont donc les ordures?

De tous les temps, l'homme a eu recours à différents moyens pour se débarrasser de ses détritus; il les a brûlés et les résidus se sont dispersés dans l'atmosphère, il les a enfouis dans le sol ou il les a jetés dans les cours d'eau et les océans, se servant de ces derniers comme s'ils étaient des égouts. Quoiqu'on ait beaucoup perfectionné l'équipement de collecte et de manutention des déchets, le sol reste encore le réceptacle le plus utilisé.

Le présent chapitre de notre rapport est consacré à une technique spécifique d'élimination des déchets: la décharge contrôlée. Nous ferons l'inventaire des décharges contrôlées, de l'est à l'ouest du pays, pour voir comment les Canadiens choisissent, exploitent et réaménagent ces sites, et nous en étudierons les répercussions sur les ressources foncières.

La définition technique des opérations relatives aux décharges contrôlées est formulée en ces termes:

> *«Méthode qui consiste à éliminer les ordures déposées sur le sol sans créer de nuisances et sans menacer la santé publique, en ayant recours à des techniques pour réduire au maximum le volume des ordures, et à les recouvrir d'une couche de terre après chaque journée d'exploitation ou selon les besoins»* (Environnement Canada, 1977*a*).

Cette explication technique donnée dans les années 1950 par l'American Society of Civil Engineers (Société américaine des ingénieurs civils) est acceptée à l'échelle internationale et c'est à elle que nous nous référerons dans ce rapport. Il importe de bien noter qu'une décharge n'est contrôlée que si elle est recouverte quotidiennement d'une couche de terre. Jusqu'à la fin de ce chapitre, il ne faudra pas perdre de vue ce détail qui est, en fait, d'une importance capitale.

Pour évaluer à leur juste valeur les détériorations du sol que causent les décharges contrôlées, il importe de voir quelle place elles occupent dans l'étude de la dégradation des sols. Les décharges contrôlées contiennent essentiellement des déchets solides. Ces déchets sont des substances résiduelles découlant des activités de la société et qui, au moment de l'élimination, ne semblent avoir aucune utilité ou valeur. Pourtant, cette perception peut changer. La preuve en est que certaines matières considérées, il y a peu de temps encore, comme des déchets, constituent à présent des ressources intéressantes. Les vieux journaux, les métaux et le verre sont trois exemples actuels de ce changement d'attitude. Néanmoins, les décharges contrôlées sont des lieux d'enfouissement de produits qui ont été ramassés puis jetés. L'enfouissement dans le sol apporte une solution au problème que constituent les ordures, en ce sens qu'elles sont biodégradables, et qu'elles se décomposent en éléments de base, sous l'action naturelle des bactéries.

L'enfouissement a des répercussions sur l'utilisation des terres du fait qu'il mobilise dans un but unique un terrain donné; toutefois, les décharges contrôlées, appelées aussi sites d'enfouissement sanitaire, ne représentent qu'une phase transitoire de l'utilisation des terres. Mise à part sa nature qui lui confère les caractères d'une petite industrie, cette activité peut avoir des incidences sur l'utilisation et les utilisateurs des terres.

Les décharges contrôlées introduisent dans le sol des substances additionnelles par la concentration sur un même emplacement de quantités considérables de déchets ou de résidus.

La modification avec le temps de la nature et de la quantité des déchets ou de leurs résidus rend excessivement plus complexe tout le processus d'élimination. Avant le XX^{e} siècle, les ordures provenaient de matières naturelles comme le coton et les aliments, et elles pouvaient donc être facilement transformées par les processus biologiques naturels, tandis que de nos jours, les déchets produits par la société ont changé et certains d'entre eux ne se décomposent que très lentement ou même pas du tout. Les plastiques et autres produits à base de pétrole, les matières synthétiques, le verre, l'aluminium, le caoutchouc, les revêtements anticorrosion pour les métaux et diverses matières complexes forment une bonne partie de nos ordures.

Les diverses méthodes d'élimination ont évolué à mesure que la nature des déchets changeait.

Photo 1. Ce dépotoir de Toronto en bordure du lac, en 1922, témoigne de la méthode d'élimination des déchets et de la mentalité de l'époque.
PA-84821 / Archives Publiques Canada

Jusque vers l'an 1500, les ordures étaient simplement jetées soit sur un terrain, soit dans l'eau, généralement non loin de l'endroit où elles avaient été générées. La politique de l'autruche, qui est encore suivie de nos jours, remonte pour le moins à l'époque de la Rome antique. Un écriteau y disait: «Allez déposer vos ordures plus loin, sous peine d'amende.» Au Moyen-âge, on brûlait les ordures pour les éliminer; il n'était pas rare de voir plusieurs dépotoirs en feu, aux abords de l'enceinte des châteaux ou des villes. Cette méthode d'élimination était loin de fournir la solution idéale, et les ordures constituaient un milieu favorable à l'éclosion des maladies. En fait, ce genre de pratiques a été en partie responsable de la propagation de la peste.

La figure 1 montre la chronologie de quelques-uns des changements de méthodes d'élimination des déchets, sous l'influence d'un certain nombre de facteurs. Il a été reconnu que la décomposition des ordures favorisait la transmission des maladies et c'est ainsi que le volume croissant des déchets et les dangers latents qu'ils représentaient ont transformé un problème individuel en un problème collectif, ce qui est un changement radical d'attitude. On a enfin admis que le traitement inapproprié des ordures portait tort au milieu et il a été jugé socialement indésirable et inacceptable.

FIGURE 1.

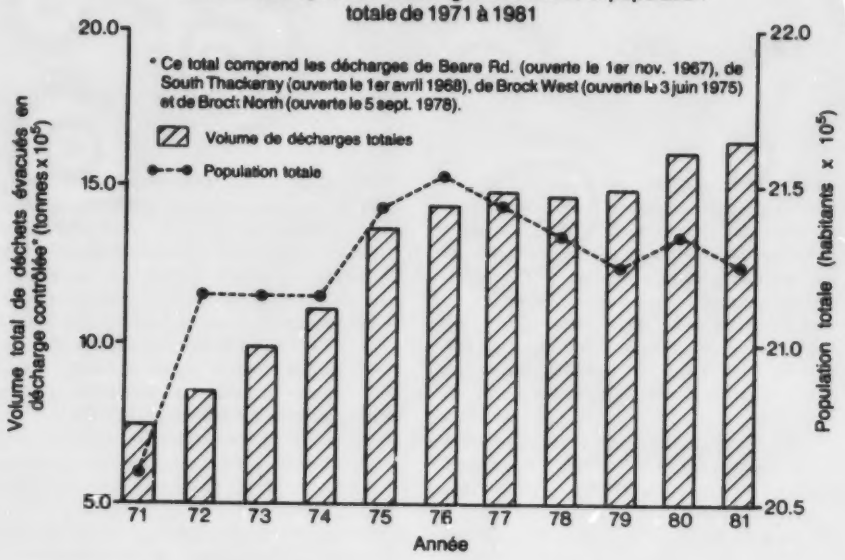
Événements marquants dans l'histoire de l'élimination des déchets

1559:	Premier système d'irrigation pour les égouts installé en Prusse
1856:	Première collecte d'ordures aux frais du contribuable américain
1859:	La Commission royale d'enquête sur l'élimination des déchets en Angleterre recommande l'épandage des déchets municipaux sur les terres pour éviter la pollution des cours d'eau
1874:	Premier incinérateur à ordures en Angleterre
1916:	Première décharge contrôlée établie en Angleterre
années 1930:	Les villes américaines font l'essai du compactage des ordures avant de les enfouir dans le sol
années 1940:	Mise en application du compactage des ordures
années 1950:	Première décharge contrôlée au Canada

Au Canada, la première décharge contrôlée a été ouverte dans la région de Toronto vers la fin des années 1950. Au cours des années 1960, plusieurs villes canadiennes ont suivi cet exemple et ont commencé à utiliser cette technique. L'adoption de la décharge contrôlée s'explique principalement par le fait qu'elle représente une nette amélioration par rapport à la décharge brute, tout en restant assez peu coûteuse. C'était aussi un moyen de restreindre les problèmes d'hygiène causés par la fumée des détritus qui étaient brûlés et par la migration des vecteurs de maladie. La majeure partie des déchets municipaux pouvaient être éliminés de la sorte, et cette opération permettait d'en disposer assez rapidement.

FIGURE 2.

Toronto métropolitain : décharges contrôlées et population totale de 1971 à 1981



Source: The Municipality of Metropolitan Toronto 1982. Metropolitan Works Department, Toronto, Ontario

De quelle façon le terrain se dégrade-t-il?

La quantité de déchets produits ne cesse d'augmenter. À titre d'exemple, la figure 2 indique l'accroissement de la population et du volume des déchets à Toronto, au cours de la dernière décennie. Ce n'est pas seulement le nombre de Torontois qui pose des problèmes de planification en matière d'utilisation des terres, mais aussi la quantité de déchets jetés par eux.

L'acquisition des sites qui conviennent le mieux à l'entassement des ordures devient de plus en plus difficile. Au Canada, toutes les formes organisées d'agglomérations, du plus petit village à la plus grande ville, produisent des détritus qu'il faut enfouir dans un terrain. Ces terrains, dont la dimension peut varier de quelques hectares à 150 ha, doivent être situés assez près du lieu où les ordures sont générées. C'est pourquoi, dans le cas des terrains situés à proximité de centres populeux, ou dans leurs limites, l'élimination des déchets le dispute souvent en importance à d'autres utilisations.

L'enfouissement de mélanges variables de substances biodégradables et non biodégradables pollue le sol, l'atmosphère et l'eau. Dès le moment où s'amorce le processus de décomposition, l'eau s'infiltrant dans les matières en putréfaction où les déchets solubles forme un percolat souvent à forte teneur en métaux, en bactéries et en sels qui, à son tour, peut polluer les eaux superficielles, les eaux souterraines et le sol, s'il n'est pas contrôlé convenablement. La décomposition des déchets organiques produit également du méthane qui, à certaines teneurs dans l'air, peut devenir explosif. D'autres résidus contiennent aussi des substances dangereuses dont la présence peut, à longue échéance, avoir des effets nuisibles sur les terres.

Les décharges contrôlées sont en outre incompatibles avec certaines utilisations des terres et il peut devenir nécessaire d'établir des zones tampons pour les séparer des terrains employés à d'autres fins. C'est ainsi qu'il faut maintenir une certaine distance entre les établissements de préparation des aliments ou de restauration, les hôpitaux et les cimetières. La mauvaise gestion des décharges, par le passé, et certaines décharges supposément contrôlées, font que nombre de propriétaires continuent à s'opposer systématiquement à tous les projets de décharge contrôlée à proximité ou au voisinage de leur propriété.

L'idée que le public se fait de la chose exerce aussi une grande influence sur la question de compatibilité des utilisations et la décharge entre dans la catégorie des «utilisations locales indésirables» (Popper, 1981). Les difficultés naissent de la publicité faite autour de certains sites où des problèmes d'odeurs nauséabondes,

de bruit, d'esthétique et de circulation excessive ont été provoqués soit par des opérations d'une trop grande ampleur ou par une mauvaise gestion, nuisant ainsi à la valeur et à l'utilisation des propriétés.

C'est l'activité industrielle qui semble pouvoir le mieux voisiner avec les décharges. Les décharges contrôlées qu'utilisent les villes sont fréquemment situées en zone rurale et les sites appropriés sont de plus en plus éloignés des agglomérations. À cause de la faible utilisation des terres et du petit nombre d'habitants directement touchés en milieu rural, les décharges contrôlées dans ces régions sont souvent considérées comme étant plus compatibles avec les autres modes d'occupation des sols. En outre, il est possible d'acheter à la campagne de vastes terrains à des prix relativement raisonnables.

La durée de vie d'une décharge contrôlée constitue un autre facteur de dégradation des terres. Même lorsqu'une décharge contrôlée est abandonnée et réaménagée en surface, les substances déposées dans le sol peuvent y subsister pendant au moins un siècle. Certains résidus mettront des centaines d'années à se décomposer tandis que, pendant ce temps, le sol en surface aura connu toute une série d'utilisations. Une fois remplie à pleine capacité et recouverte d'une couche de terre suffisamment épaisse, la décharge contrôlée peut servir à des activités comme l'agriculture, les loisirs et même, sous réserve d'une surveillance rigoureuse, à la construction de certains bâtiments. En revanche, de nombreuses décharges contrôlées abandonnées ne sont pas réutilisées et restent simplement à l'état de terrains vagues. Toutefois, le contenu des décharges, c'est-à-dire les ordures, peut continuer à produire du méthane et du percolat qui, le cas échéant, doivent être soigneusement contrôlés pendant une longue période. Les multiples utilisations de terres qui se succèdent à la surface ne doivent pas faire oublier que, tout en restant invisible, le contenu d'une décharge contrôlée ne continue pas moins à exercer son influence pendant des décennies.

La quantité sans cesse accrue des déchets, la concurrence pour l'acquisition des terrains, la complexité croissante des matières qui composent les ordures quotidiennes, les problèmes et les effets inhérents à l'utilisation des terres, et la prolongation des périodes nécessaires à la décomposition de déchets d'une nature toujours plus durable signifient que les décharges contrôlées contribuent dans une large mesure à la dégradation des terres.

Échelle

La méthode d'élimination par décharge contrôlée est en usage dans toutes les provinces du Canada et il ne fait aucun doute que, sur le plan écologique, elle constitue une amélioration par rapport à celle qui l'a précédée, c'est-à-dire la décharge brute. La distribution des décharges contrôlées est en relation étroite avec celle de la population qui, après tout, est la productrice d'ordures. Malheureusement, l'élimination des déchets conformément aux termes de la définition d'une décharge contrôlée est encore fort peu pratiquée.

Toutes les provinces ont des décharges contrôlées et chacune d'elles a pleine et entière juridiction sur ses décharges. Le tableau 1 réunit quelques statistiques nationales basées sur un recensement par les ministères provinciaux responsables des décharges contrôlées. Il fait ressortir la grande variété de dimensions des décharges contrôlées, qui vont de 2 000 m² à 163 ha, et le nombre de décharges selon les provinces: l'Île-du-Prince-Édouard en signale 2, le Québec 56. Cette diversité ne tient pas seulement aux différentes méthodes d'élimination utilisées par les provinces mais aussi à leur superficie et à leur densité de population, ainsi qu'à la façon dont chaque province conçoit ce qu'est une décharge contrôlée. Cette dernière n'est pas la seule méthode courante d'élimination des déchets; le dépotoir, la décharge contrôlée modifiée et la décharge sécuritaire figurent parmi les autres techniques d'enfouissement des ordures. (Une section à la fin de ce chapitre traite des conditions particulières dans lesquelles on procède à l'élimination des déchets dans le Nord canadien, notamment au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest.)

TABLEAU 1.
Statistiques nationales sur les décharges contrôlées

Province/Territoire	Nombre de décharges contrôlées existantes	Dimension (ha)	Superficie totale occupée par les décharges contrôlées (ha)
Colombie-Britannique	20	N.D.	N.D.
Alberta	14	N.D.	N.D.
Saskatchewan	10	N.D.	N.D.
Manitoba	8	1,0 à 163	550
Ontario	N.D.*	0,2 à 100	N.D.
Québec	56	0,6 à 55	730
Nouveau-Brunswick	13	4 à 20	120
Nouvelle-Écosse	5	12 à 146	325
Île-du-Prince-Édouard	2	16 à 24	40
Terre-Neuve	15	2 à 40	190
Territoires du Nord-Ouest	+		
Yukon	+		

N.D. - Chiffres non disponibles.

* La province d'Ontario ayant une définition différente de celle qui est donnée à la décharge contrôlée dans cette étude, les chiffres n'ont pu être obtenus.

+ Conditions défavorables à ce genre d'exploitation.

Source: Ministères provinciaux responsables des décharges contrôlées.

TABLEAU 2.
Volume moyen de déchets produits par habitant en 1980 dans 38 municipalités de l'Ontario*

Population	Nombre de municipalités	Production moyenne de déchets par habitant (kg)
> 250 000	8	1,04
100 000 - 250 000	8	1,09
50 000 - 100 000	8	0,95
25 000 - 50 000	8	0,95
< 25 000	6	0,86

* D'après l'enquête fragmentaire sur les déchets solides produits dans les secteurs résidentiel et commercial léger seulement.

Source: Hare, 1982.

TABLEAU 3.
Avantages et inconvénients de la décharge contrôlée

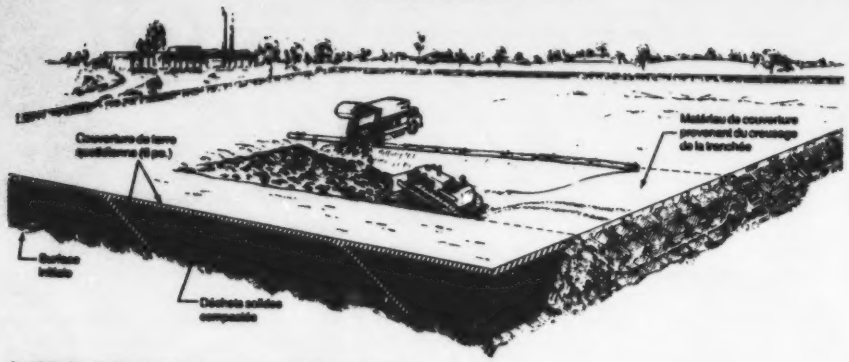
	Avantages	Inconvénients
Politiques	Pendant la période d'exploitation ou une fois comblée et réaménagée pour répondre à un besoin collectif, comme une aire récréative, la décharge peut devenir un exemple de bonne planification.	Les sites à l'extérieur des villes sont généralement situés dans des juridictions différentes, ce qui nécessite la coopération et des travaux de planification entre les deux autorités politiques ou gouvernementales. L'emplacement d'une décharge peut facilement faire l'objet de dissensions politiques et devenir l'enjeu d'élections municipales ou provinciales. Les considérations politiques peuvent parfois l'emporter sur les facteurs écologiques ou techniques. Les démarches nécessaires pour répondre aux exigences gouvernementales prennent souvent beaucoup de temps et peuvent parfois retarder considérablement la mise en exploitation d'une décharge. Les conséquences d'installations mal exploitées peuvent se retourner contre les politiciens.
Sociaux	La décharge contrôlée est un service nécessaire et souhaitable au sein d'une collectivité. La diminution du nombre de rongeurs et de mouches attribuable aux méthodes sanitaires contribue à l'amélioration de la santé publique.	Personne ne veut une décharge près de sa maison. L'opinion publique, à tort ou à raison, peut retarder le processus de sélection d'un site et même entraîner le choix d'un emplacement plus acceptable du point de vue social au détriment d'un meilleur site sur le plan écologique. Le manque de connaissances techniques du public et le fait qu'il ne fasse pas de distinction entre une décharge contrôlée et un dépotoir alimentent les craintes, la confusion et parfois l'opposition. Il peut arriver que le site d'une décharge et ses alentours héritent des problèmes d'hygiène d'un secteur urbain.
Fonctionnels	Exploitation possible dans la plupart des climats tempérés. Grande souplesse d'adaptation aux charges maximales, aux quantités variables et à différents horaires de collecte. Période relativement courte de préparation à la mise en exploitation, aucune infrastructure importante n'étant nécessaire. Possibilité d'accepter presque tous les types de déchets solides, ce qui élimine la nécessité de faire des collectes sélectives. Possibilité de fermeture rapide.	Dans certaines régions, l'exploitation pendant l'hiver pose des problèmes. Il ne peut y avoir de décharges contrôlées dans les zones de pergélisol continu. Les démarches initiales pour obtenir l'approbation des autorités et de la population, les travaux techniques et la planification peuvent exiger énormément de temps et retarder la mise en exploitation.
Économiques	C'est la méthode d'élimination des déchets la plus économique, à condition que les terres pouvant être utilisées à cette fin ne soient pas trop éloignées. Elle reste économique même pour les petites localités. Le capital d'immobilisation initial est peu élevé par rapport aux autres techniques d'élimination des ordures. Elle peut être remplie ou fermée sans une grosse perte de capital en terrain ou en matériel; le terrain peut être réutilisé à d'autres fins et le matériel peut servir à une foule d'autres travaux municipaux. L'investissement de capital pour les structures permanentes est minimal.	Son exploitation coûte plus cher que celle d'un dépotoir. Les coûts de transport peuvent être élevés si la source de production des déchets est très éloignée de la décharge. La prévention de la pollution des eaux souterraines par le percolat et le contrôle du méthane peuvent coûter cher, s'ils n'ont pas été bien planifiés. Les coûts montent avec l'augmentation de la population, de la consommation de biens, de la complexité des détritus, du prix des terres, des coûts de collecte et de transport, etc.
Écologiques **Esthétique**	Un espace où est centralisée l'élimination des déchets est un atout important du point de vue esthétique pour un centre urbain ou sa	Transfert sur le site de la décharge et aux environs des problèmes d'ordre esthétique de toute une ville ou d'une zone de service.

TABLEAU 3. (*Suite*)
Avantages et inconvénients de la décharge contrôlée

	Avantages	Inconvénients
	zone périphérique, parce qu'il permet l'amélioration du cadre autour des habitations, des entreprises et des industries.	
	Les décharges contrôlées correctement conçues et exploitées présentent le minimum de problèmes liés aux mauvaises odeurs, au bruit, à la poussière, à l'envol des papiers, aux vecteurs et aux oiseaux.	Les mauvaises odeurs, le bruit, la poussière, l'envol des papiers, les vecteurs et les oiseaux qui constituent de graves problèmes sur les sites mal exploités, peuvent encore être des nuisances sur les sites correctement exploités.
	Grâce à l'emploi de bermes et autres barrières, la présence des décharges contrôlées est plus discrète que celle des incinérateurs et des dépotoirs.	Modification du paysage pendant l'exploitation et parfois après la fermeture de la décharge.
	Les sites désaffectés et remis en état sont parfois un avantage sur le plan esthétique pour la collectivité.	Pendant la préparation et l'exploitation du site, la végétation peut être détériorée ou totalement enlevée. Les gaz de décharge peuvent nuire aux arbres et aux autres plantes ou même les détruire après la fermeture du site.
		Les décharges contrôlées désaffectées et non remises en état enlaidissent le paysage.
Pollution	L'exploitation appropriée d'une décharge contrôlée comprend, au besoin, des techniques spéciales permettant de contrôler le méthane et le percolat. Le sol et les eaux souterraines peuvent ainsi être protégés contre la pollution.	Le percolat et le méthane doivent être pris en considération sur toutes les décharges; leur incidence sur l'environnement peut varier, puisqu'elle peut être nulle s'ils sont bien contrôlés ou grave, dans le cas contraire.
	Lorsqu'une décharge est correctement située, conçue et exploitée, la pollution de l'air, de l'eau et du sol est réduite au minimum.	
	La décharge contrôlée est une technique d'élimination complète par elle-même, qui n'exige pas d'autres manipulations des ordures, comme c'est le cas avec l'incinération et le compostage.	
Faune	Contrairement aux dépotoirs qui attirent des animaux comme les ours, la décharge contrôlée réduit ce problème au minimum.	À cause des perturbations infligées à leur habitat et aux cours d'eau, de la modification du paysage et du bruit, les animaux indigènes et les oiseaux doivent s'en aller ailleurs.
		Les décharges mal exploitées peuvent attirer certaines espèces animales comme les ours, les mouettes et les rats.
		L'habitat peut être détruit par les polluants non confinés.
Autres aspects relatifs aux terres	Une décharge contrôlée exige moins d'espace qu'un dépotoir car les détritus sont compactés.	L'installation de décharges exige des superficies de plus en plus étendues.
	Elle permet la remise en état et la réutilisation des terres submarginales ou indésirables en raison de leur état antérieur (mines à ciel ouvert, gravières, carrières, ravins ou mauvaises terres).	Les décharges font concurrence aux autres utilisations lorsque le terrain est situé dans une ville ou à proximité.
	Une fois remises en état, les anciennes décharges peuvent servir à une foule d'usages, dont les loisirs (parcs, pentes de ski, terrains de jeu ou de golf, etc.) et, dans certains cas, le stockage et le stationnement.	Les dangers possibles que présentent le percolat, le méthane et l'affaissement du sol limitent les utilisations ultérieures des sites et des terres environnantes.
	Les terrains environnants sont très peu dévalorisés pendant la période d'exploitation.	Les incidences sur l'utilisation des terres environnantes peuvent avoir une portée considérable, comme dans le cas de l'installation d'un aéroport.
	Les terres avoisinantes prennent souvent de la valeur, si le site est réaménagé à des fins récréatives.	Les appréhensions du public à l'égard de la dévalorisation des terrains sont très répandues et, à l'occasion, justifiées.

Les recherches indiquent qu'il n'y a jamais eu de chiffres compilés à l'échelle nationale sur la production des ordures. Il est possible toutefois d'en évaluer approximativement le volume afin d'avoir une idée de l'ampleur du problème. En 1970, le volume de déchets municipaux était estimé à 15 millions de tonnes par année (Environnement Canada, 1976) ou, en d'autres termes, on peut dire que chaque Canadien produit environ 2 kg d'ordures par jour ou 717 kg par an. La production d'ordures varie entre 0,3 à 3 kg par habitant (K. Childs, notes personnelles, 1981). Une enquête récente donne les taux de production de déchets en Ontario (tableau 2). Les incidences que tous ces déchets peuvent éventuellement avoir sur les terres sont considérables. En 1973, Webber déclarait: «La ville de Toronto produit environ 1,5 million de tonnes [1,4 million de tonnes métriques] de déchets chaque année ... quantité qui pourrait occuper un terrain de 100 acres [40 ha] sur une épaisseur de 10 pieds [3 m]». Au Canada, de nombreux centres déposent les ordures dans des décharges contrôlées. Étant donné que les ordures compactées sont couvertes de terre dans la proportion d'une partie de terre pour quatre parties de détritus, il s'ensuit que pour 4 m d'ordures, l'épaisseur totale atteindrait à peu près 5 m avec la terre ajoutée.

FIGURE 3.
Technique de la tranchée



Avec l'aimable autorisation de United States Environmental Protection Agency.

On a établi une corrélation étroite entre le niveau de vie d'un pays et le volume de déchets solides qu'il produit (Graff et Rogers, 1973*b*). Cette corrélation est également révélatrice de la société de consommation qui est née dans les pays les plus industrialisés; tout, depuis les voitures jusqu'aux contenants, a une durée de vie très limitée ou est mis au rebut après avoir servi une seule fois. Le prix de la main-d'oeuvre étant élevé, il en coûte généralement moins cher de jeter les objets que de les réparer. Évidemment, cette situation entraîne la production de déchets et, par conséquent, la nécessité d'avoir des décharges contrôlées. Même si l'on utilise mieux les ressources, qu'on procède à un certain recyclage et qu'on incinère une partie des ordures, il reste encore des déchets à éliminer, et la décharge contrôlée est la solution la plus facile.

Avantages et inconvénients

L'enfouissement sanitaire, ou décharge contrôlée, est une technique d'élimination des déchets recommandée du point de vue tant sanitaire et écologique qu'économique et technique. Au Canada, les collectivités, les municipalités et les provinces abandonnent de plus en plus la méthode de la décharge brute au profit des décharges contrôlées régionales. Néanmoins, l'enthousiasme et la faveur dont jouit cette technique sont atténués par des problèmes de pollution, d'utilisation des terres et, dans des cas précis, de droits individuels. Les avantages et inconvénients de la décharge contrôlée ont été abondamment étudiés (Flockton, 1971; Glysson *et al.*, 1972; Baum et Parker, 1973*b*; Stearns et Ross, 1973; Pavoni *et al.*, 1975; Rimberg, 1975; Reindl, 1977*b* et Stone, 1977). Ils sont résumés au tableau 3.

Types de décharge contrôlée

Il existe deux types de décharge contrôlée: celle où l'on utilise la technique de la tranchée et celle de la technique de surface. Toutes les autres techniques, dont celle du talus qui est très répandue, ne sont qu'une variante de ces deux méthodes principales.

Technique de la tranchée: *«Cette technique consiste à creuser une tranchée longue et étroite dans le sol et à empiler la terre enlevée. Les ordures sont déposées à une des extrémités en pente de la tranchée puis épandues suivant une légère inclinaison (avec une pente en général d'environ 20°) et compactées par l'équipement dont on dispose sur le site. À la fin de la journée, les ordures compactées sont recouvertes d'une couche de la terre enlevée au moment du creusage. Une fois la tranchée entièrement remplie, une dernière couche de terre plus épaisse est ajoutée sur le dessus»** (Pavoni *et al.*, 1975).

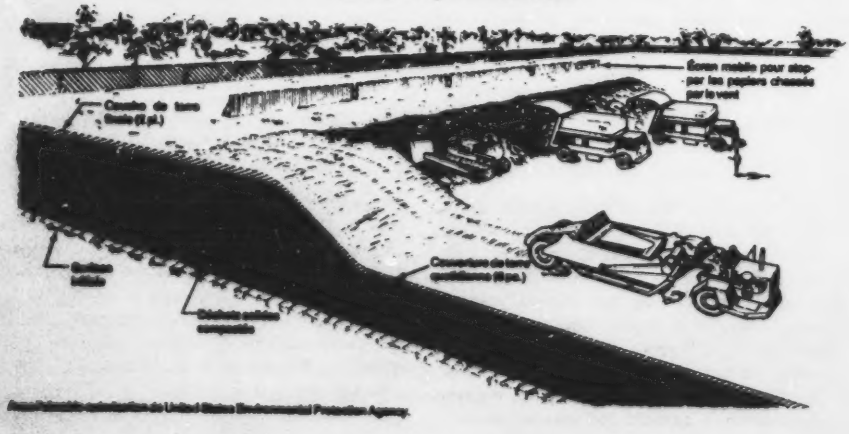
Cette technique convient tout particulièrement lorsque le terrain peut être creusé profondément, lorsqu'il y a une couche épaisse d'argile imperméable en sous-sol et une épaisse couche de terre pouvant servir de matériau de couverture (figure 3). La technique de la tranchée est tout spécialement pratique dans les régions sans relief ou légèrement vallonnées, et elle est excellente pour les décharges contrôlées de dimensions restreintes.

Elle présente un certain nombre d'avantages, tels que la possibilité de stocker le surplus de terre ôté de la tranchée en vue d'un autre usage, notamment si on doit avoir recours à la technique de surface, une fois que la tranchée sera remplie. Le problème des papiers emportés par le vent sera minimisé si les rebuts sont étalés sur toute la surface après avoir été déposés à une extrémité de la tranchée, au lieu d'être déversés par-dessus bord.

Technique de surface: *«Avec cette technique, contrairement à la précédente, les ordures sont déversées sur une surface qui n'a pas été modifiée; la seule opération préalable qui peut être effectuée lorsque cette méthode est utilisée est l'enlèvement du sol superficiel et de la matière organique (humus) pouvant convenir à la couverture finale. Les ordures déversées par les véhicules de collecte et de transport sont étalées uniformément sur le terrain puis sont fortement compactées. À la fin de la journée, ou lorsque la surface est couverte de détritus, on dépose une couche de terre sur le dessus. Lorsque la décharge est entièrement remplie, on la recouvre d'une dernière couche plus épaisse»* (Pavoni *et al.*, 1975).

On emploie la technique de surface (figure 4) même lorsque la nappe phréatique est proche de la surface et qu'il est impossible de creuser en profondeur pour enfouir les déchets. On y a généralement recours lorsque le terrain présente des irrégularités, et cette technique s'avère par-

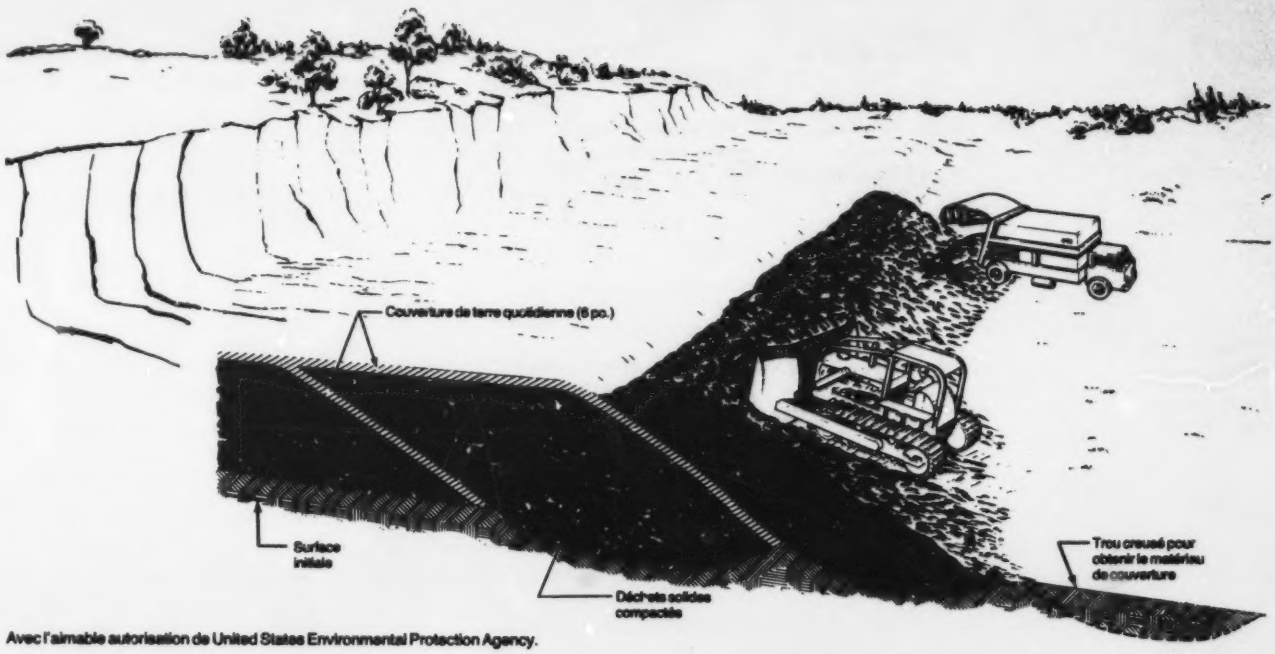
FIGURE 4.
La technique de surface



Avec l'aimable autorisation de United States Environmental Protection Agency.

* Toutes les citations dans ce chapitre sont des traductions libres

FIGURE 5.
Technique du talus



Avec l'aimable autorisation de United States Environmental Protection Agency.

ticulièrement utile lorsque des dépressions naturelles ou artificielles doivent être comblées. La technique de surface peut aussi être employée sur des terrains ayant déjà été comblés et nivelés avec la technique de la tranchée. Les principaux inconvénients tiennent au fait que le matériau de couverture doit généralement venir d'ailleurs par camion et que des précautions particulières s'imposent pour que les ordures, la poussière et les vecteurs de maladies ne soient pas répandus sur une surface généralement assez grande.

Technique du talus: «Cette technique hybride réunit certaines caractéristiques des deux méthodes qui viennent d'être décrites. Avant de déposer les rebuts, on pratique une petite excavation sur le versant d'une pente choisie dans ce but. La terre enlevée est empilée tout près. Les ordures sont alors déposées sur la pente, étalées et compactées avec les engins ordinaires, puis recouvertes avec la terre retirée au moment du creusage. Cette opération est répétée indéfiniment, de sorte que l'on obtient une succession de pentes sur le terrain de décharge. C'est pour cette raison que la technique du talus est aussi appelée «technique de la pente progressive» (Pavoni *et al.*, 1975).

Cette variante représente la combinaison la plus courante des deux techniques de base (figure 5). Le trou creusé en avant de l'espace de travail permet non seulement d'enfouir les rebuts mais également d'avoir le matériau de couverture. Cette méthode est généralement plus économique que la technique de surface parce qu'elle n'exige pas le transport de matériau de couverture et permet jusqu'à un certain point de creuser au-dessous du niveau initial du sol (Hagerty *et al.*, 1973).

Législation

Le choix de l'emplacement, l'exploitation, la gestion et la fermeture des décharges contrôlées sont des questions qui relèvent de la juridiction des provinces. En vertu des lois adoptées, certains ministères sont chargés de surveiller les décharges contrôlées. Le tableau n° 4 énumère et compare les lois sur les décharges contrôlées. Toutes les provinces, sauf l'Île-du-Prince-Édouard, ont des lois qui régissent les méthodes d'élimination des déchets; mais souvent, la technique de la décharge contrôlée n'est qu'une des méthodes mentionnées dans ces lois. Dans la plupart des provinces, le ministère de l'Environnement fait office d'organisme responsable. À l'Île-du-Prince-Édouard, où n'existe aucune loi formelle en ce sens, il incombe au ministère des Affaires municipales de se charger de cette question. En Saskatchewan, le ministère provincial de la Santé est l'organisme responsable, mais le ministère de l'Environnement offre des conseils au sujet des décharges contrôlées. Une situation analogue existe en Alberta, où les ministères de la Santé et de l'Environnement travaillent en étroite collaboration. Les incidences de l'élimination des ordures sur les terres ne sont pas les seules questions préoccupantes: il y a aussi celle de la détérioration du milieu et de ses répercussions sur le bien-être de la population.

Dans les provinces possédant une loi officielle, l'autorisation de choisir un terrain en vue d'y déposer des ordures, décharges contrôlées y comprises, doit être délivrée par une lettre officielle du ministère responsable. Ce système d'autorisation permet d'évaluer les facteurs environnementaux et d'interdire les activités, si les conditions d'exploitation prescrites ne sont pas respectées. Il arrive souvent qu'une entente réciproque soit conclue entre la province et l'exploitant, quant aux conditions à observer, mais il reste qu'en définitive ces conditions peuvent être dictées par le ministère responsable.

Les lois provinciales sont également assorties de directives et de règlements qui ont pour but de préciser les détails relatifs à l'emplacement, à l'implantation et à l'exploitation; néanmoins, ces directives et règlements ne sont pas uniformes et ne sont pas obligatoirement ou uniformément mis en application. L'examen attentif des aspects du terrain mentionnés au tableau n° 4 indique la variation des normes. Par exemple, bien que toutes les provinces reconnaissent, pour des raisons d'ordre esthétique ou écologi-

TABLEAU 4.
Lois provinciales relatives aux décharges contrôlées

Province	Loi applicable et date d'entrée en vigueur	Ministère responsable	Genre d'autorisation
Colombie-Britannique	Waste Management Act c. 1982	Ministry of Environment, Waste Management Branch	Permis; autorisation du chef de la gestion des déchets ou du Directeur régional des déchets
Alberta	Public Health Act 1980; 1972 avec modifications	Provincial Board of Health assistance from Department of Environment	Permis; Commission provinciale de la Santé
Saskatchewan	Public Health Act R.S.S. 1978, Chapter P-37	Department of Health	Permis; autorisation finale du ministère de la Santé après approbation du ministère de l'Environnement qui doit s'assurer que les mesures de lutte contre la pollution sont adéquates
Manitoba	Loi sur la protection de l'environnement 1972	Ministère de l'environnement	Autorisation du ministère
Ontario	Loi sur la protection de l'environnement 1980	Ministère de l'environnement	Permis; autorisation du Chef de la Direction des approbations environnementales et des projets techniques
Québec	Loi de la qualité de l'environnement, 1972	Environnement Québec, Service de la Protection de l'environnement (Environment Quebec, Environmental Protection Service)	Permis; Chef du Service de protection de l'environnement
Nouveau-Brunswick	Loi sur l'assainissement de l'environnement, 1973	Ministère de l'environnement	Permis; Ministère de l'environnement
Nouvelle-Écosse	Environmental Protection Act 1973	Ministère de l'environnement	Autorisation du ministre
Île-du-Prince-Édouard	Aucune	Department of Community Affairs	Selon les circonstances locales
Terre-Neuve	Waste Material (Disposal) Act 1973; modifiée en 1976	Department of Environment and Department of Municipal Affairs	Permis; autorisation du Comité d'élimination des déchets

Source: Données fournies par les provinces.

Règlement ou directives spécifiques	Aspects du terrain spécifiquement mentionnés dans les directives ou les règlements					
	Zone tampon	Convenance du sol	Compatibilité de l'utilisation	Facteurs géologiques	Transport	Eaux souterraines et superficielles
Objectifs de lutte contre la pollution pour les industries chimiques et pétrolières; l'industrie minière, sidérurgique et industries connexes, l'industrie forestière; le conditionnement des aliments; l'industrie agricole et autres industries; les décharges d'ordures municipales	Oui	Oui				Oui
Normes de conception et d'exploitation, 1972	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Règlement sur la gestion des déchets, 1972	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Règlement 208/76	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Directives sur l'établissement, l'exploitation, la gestion, l'entretien et la fermeture des décharges Le chapitre 86, partie V de la Loi sur la protection de l'environnement et le Règlement 309 (antérieurement 824) contiennent les dispositions sur la gestion des déchets	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Règlement sur la gestion des déchets solides	Oui	Oui	Oui		Oui	Oui
Directives sur l'élimination des déchets solides dans le sol	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Règlement d'application 51*f*) de la Loi de la protection de l'environnement	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Directives internes sur le choix des emplacements	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Dispositions relatives à la construction et à l'exploitation stipulées dans chaque certificat d'autorisation	Oui	Oui		Oui		Oui

Photo 2. Comme l'indique ce panneau à Terre-Neuve, des amendes peuvent être imposées en vertu de la loi provinciale aux personnes qui jettent ou se débarrassent des ordures de façon interdite.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

que, ou encore pour circonscrire les contaminants à l'intérieur d'un site, la nécessité de prévoir des zones tampons entre la décharge contrôlée et tous les terrains avoisinants utilisés à d'autres fins, la largeur de ces zones varie. Ainsi, la distance requise entre la décharge et l'habitation la plus rapprochée varie de 402 m au Manitoba à 800 m en Nouvelle-Écosse et à 1 600 m à Terre-Neuve. Les règlements de plusieurs provinces ne précisent pas les dimensions des zones tampons.

INCIDENCES DES DÉCHARGES CONTRÔLÉES SUR LES TERRES

Incidences directes

«Il n'y a aucun doute que l'exploitation d'une décharge contrôlée a des répercussions importantes sur l'environnement» (Stearns et Ross, 1973). À la lumière d'une telle affirmation, il est surprenant de constater combien peu d'études ont été consacrées aux incidences de ces installations sur les terres. Il est compréhensible que les aspects de technique et d'ingénierie aient été plus poussés, à cause de l'importance que revêtent à long terme l'hygiène et la sécurité. Toutefois, par le passé, les questions relatives aux ressources foncières n'ont reçu qu'une attention limitée. Heureusement, de nos jours, les projets de décharge contrôlée comprennent souvent une étude sur les incidences comme partie intégrante des processus de sélection, de conception, d'exploitation et de réaménagement, ce qui permet de réduire les effets possibles sur les terres.

Modification du paysage

«Pendant la phase d'exploitation d'une décharge, la configuration du terrain se modifie constamment. On détruit la végétation, et on construit des voies d'accès... Dans tous les cas, l'aspect général et les conditions de drainage environnantes sont modifiées de façon marquée» (Stearns et Ross, 1973).

La nature des incidences sur le terrain dépendra de la topographie initiale et de la technique (tranchée, talus ou surface) adoptée pour le site. Dans les régions où la topographie est irrégulière, la technique en surface peut être employée. En l'occurrence, le comblement des dépressions transformera un paysage vallonné en un paysage plat. La technique de la tranchée peut produire des dépressions ou des collines là où il n'y en avait pas auparavant. Dans tous les cas, le terrain naturel est modifié et les répercussions se font sentir non seulement sur le ruissellement, le drainage et l'érosion mais aussi sur le plan de l'esthétique.

Non seulement le paysage risque de changer mais la couverture végétale peut, elle aussi, être radicalement transformée. Les travaux d'ouverture d'une décharge comprennent le déboisement, le détournement des cours d'eau, l'enlèvement et le stockage du matériau de couverture, le nivellement préalable pour la construction des voies d'accès, des zones de travail, des bâtiments et des fossés. De tels bouleversements risquent de perturber gravement la flore locale. «À toutes fins pratiques, la végétation est entièrement détruite pendant les opérations de comblement. En outre, le méthane peut migrer latéralement, en dehors des limites de la décharge même. Il est possible que la présence des gaz de décharge dans la rhizosphère nuise à la croissance de certains arbres et d'autres plantes» (Stearns et Ross, 1973). La faune locale est elle aussi menacée par suite de la suppression totale de la végétation ou des dommages et changements qui lui sont infligés pendant l'aménagement, l'exploitation et la fermeture de la décharge.

«Tous les animaux de la zone de décharge sont tués ou contraints d'aller vivre ailleurs, étant donné que leurs aires d'alimentation et leur habitat seront éventuellement couverts d'ordures et de terre. De plus, le bruit produit par les machines et les véhicules de collecte peut perturber l'habitat des animaux à des lieues à la ronde, ce bruit étant particulièrement préjudiciable à certains mammifères et oiseaux. Le percolat qui pénètre dans les eaux naturelles constitue une menace pour les poissons. Au cours du comblement d'une décharge, des animaux venant de l'extérieur, comme les rats, les mouches, les mouettes, sont parfois attirés par les déchets malgré l'emploi de méthodes adéquates. La présence de ces intrus risque de faire fuir les espèces indigènes» (Stearns et Ross, 1973).

Photo 3. L'enlèvement de la couverture végétale et de la couche supérieure du sol pour installer une décharge contrôlée modifie de toute évidence le paysage. Même après la fermeture d'une décharge, le site peut présenter un aspect très différent par rapport aux terres environnantes.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

Qu'est-ce qui arrive une fois que la décharge est entièrement comblée? Il y a peu de temps encore, on n'accordait guère d'attention au réaménagement, à l'entretien et à l'utilisation finale du terrain après la fermeture d'une décharge. Nombre de sites ont été abandonnés sans avoir été recouverts de terre, de végétation ou de semence. L'effritement, l'affaissement et l'érosion ont souvent défiguré certains emplacements. Un tel état de choses suscite non seulement des problèmes d'hygiène et de sécurité, mais aussi des problèmes esthétiques. Même réaménagés, les sites paraissaient déplacés dans le milieu environnant; des ravins ont été comblés, des paysages nivelés ou des collines ont surgi au beau milieu d'un terrain plat. Autrefois, on ne se souciait guère de l'apparence ultérieure du site, mais aujourd'hui, un plan de réaménagement et d'utilisation ultérieure du site doit faire partie intégrante du projet.

En bref, la décharge a un aspect dynamique, le paysage se modifie au fur et à mesure des opérations de creusage et de comblement qui, bien souvent, s'étendent sur une période d'au moins 20 ans. Le spectacle, les bruits et les odeurs provoqués par la présence d'une décharge et la modification du terrain et de la végétation qui s'en suivent peuvent être considérables.

Utilisation des terres

Pendant toute la durée de la période consacrée au choix de l'emplacement, à l'exploitation et à la remise en état, les décharges contrôlées exercent à bien des égards une influence sur l'utilisation des terres. La nature et l'étendue des

Photo 4. Plusieurs provinces préfèrent installer les décharges contrôlées dans des zones rurales boisées. Comme dans cet exemple, au Nouveau-Brunswick, une zone tampon boisée isole le site de la décharge des terres utilisées à d'autres fins.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

incidences varient selon l'emplacement et selon que la décharge est en exploitation ou fermée. En outre, les incidences ne seront pas les mêmes sur le site que sur les terres avoisinantes. De même que le choix de l'emplacement d'une nouvelle installation d'élimination des déchets est influencé par les modes existants d'utilisation des terres, cette installation aura certains effets sur l'utilisation actuelle et future des terres.

La création d'une décharge contrôlée oblige au moins à interrompre temporairement l'utilisation actuelle du site choisi. Dans les villes, il peut s'agir de zones bâties, de parcs de roulottes, d'établissements commerciaux et industriels, d'institutions, de zones récréatives ou agricoles. En périphérie et dans les régions rurales, il est probable que les terres, mises à part celles qui étaient tout simplement en friche, étaient auparavant consacrées surtout à l'agriculture, à la foresterie, aux loisirs ou à certaines industries de services qui, de tout temps, ont tendance à s'y implanter. Il est intéressant de constater que, même si on a beaucoup écrit sur l'influence exercée par l'occupation des terres sur le choix de l'emplacement des installations de traitement des ordures, aucune étude ne semble pas avoir été faite pour analyser les conséquences que pourrait avoir l'interruption des utilisations existantes des terrains pour en faire des décharges.

On ne possède pas non plus beaucoup d'information sur l'influence qu'exercent les décharges contrôlées sur les terres avoisinantes. À partir des documents consultés et des opinions recueillies, il est toutefois possible de faire quelques observations générales. Les décharges sont rarement situées au coeur des villes à cause de la rareté et de la cherté des terrains, d'un aménagement déjà en place, du zonage, de la planification de l'utilisation des terres et des risques plus grands d'opposition de la part du public.

Autour des villes, plusieurs utilisations des terres peuvent être touchées, et à des degrés divers, mais il est guère probable que l'industrie lourde existante en subisse les répercussions. Le mouvement des engins lourds, ainsi que la poussière, la manutention des déchets et le bruit associés à l'exploitation d'une décharge peuvent faire penser à l'activité d'une entreprise industrielle. Cependant, la plupart des autres utilisations des banlieues sont plus sensibles à l'emplacement des décharges contrôlées, par exemple les secteurs résidentiels et de nombreuses utilisations commerciales. Les propriétaires s'inquiéteront sans doute de la baisse de valeur de leur terrain et de la détérioration du paysage. Ce genre de préoccupations signifie le départ de certains résidents et de commerçants qui se trouvent dans les parages, le refus de la part d'autres utilisateurs de venir s'installer là et une diminution possible de la demande pour les terrains adjacents et de leur valeur. Toutefois, il arrive rarement que les incidences soient telles qu'elles provoquent un changement complet de la population, bien que les modes d'occupation des terres puissent être modifiés.

En milieu rural, lorsque les terres sont en friche, qu'elles ne sont pas zonées en vue d'un développement futur ou ont un faible potentiel d'utilisation quel qu'il soit, il est probable qu'une installation d'élimination des ordures aura des incidences moins marquantes sur l'occupation des terres environnantes. Cependant, la situation peut être différente dans les régions rurales où existent des exploitations agricoles ou forestières, des zones récréatives, des parcs ou des secteurs résidentiels. D'après les données actuelles, il semble que les décharges n'ont pas de répercussions importantes sur la forêt ou les terres agricoles, à condition que des mesures appropriées soient prises pour éliminer les dangers causés par la présence de percolat et de méthane. Par contre, la contamination des eaux souterraines et, par voie de conséquence, de l'eau de puits ou de l'eau superficielle par le percolat nuirait à l'agriculture et à la population rurale. Les zones récréatives en plein air seront perturbées par le bruit, les odeurs ou autres inconvénients suscités par la présence d'une décharge, comme pourront l'être les habitats naturels et, par conséquent, la faune.

On croit généralement que les répercussions qu'ont les décharges sur l'utilisation des terres se font davantage sentir dans les villes que dans les régions rurales, mais cette thèse n'a pas encore été prouvée. Il peut s'agir là d'une simple question de point de vue, les incidences en milieu rural étant jugées comme moins importantes. Sans doute les citadins estiment-ils que les conséquences sont plus graves chez eux qu'ailleurs. La population rurale s'oppose souvent avec énergie à l'idée de voir ses terres transformées en dépotoirs pour les besoins des citadins, tandis que ces derniers voient dans les espaces inoccupés de la campagne l'endroit idéal pour se débarrasser de leurs détritus.

Comment atténuer les incidences des décharges sur l'utilisation des terres? Voilà une question qui retient l'attention tant des provinces que des municipalités. Au Nouveau-Brunswick, les emplacements sont situés dans des régions rurales éloignées, à faible densité de population, ou sur des terres boisées ou inoccupées pour lesquelles aucun projet d'aménagement n'existe ou n'est prévu. À Terre-Neuve, les décharges sont situées, dans la mesure du possible, sur les terres de la Couronne. En Saskatchewan, la majorité des municipalités ont pu faire l'acquisition de terrains qui n'ont jamais été cultivés. Au Québec, les décharges contrôlées sont généralement implantées à la campagne. Si l'emplacement choisi se trouve dans une zone agricole (prescrite par la Loi sur la protection du territoire agricole), une demande doit être adressée à la Commission de la protection du territoire agricole afin de modifier le zonage des lots en cause. Les autorités de la province estiment que certaines dispositions de la Loi, comme les restrictions relatives à l'emplacement, les zones tampons et les exigences sur le plan de la conception, réduisent l'éventualité d'incidences défavorables sur les terres environnantes.

Un autre moyen de restreindre les incidences d'une décharge sur les autres terres consiste à fixer des distances minimales entre elles. Par exemple en Alberta, la loi exige une distance de 457 m entre une décharge et un hôpital, une habitation ou une industrie alimentaire. Le Nouveau-Brunswick, pour sa part, exige une distance de 150 m entre une voie de circulation publique et une décharge contrôlée, lorsque celle-ci est protégée par un écran, ou de 300 m lorsque le site est ouvert.

La plupart des provinces ont établi des directives ou normes dont il faut tenir compte au moment d'évaluer l'emplacement possible d'une décharge, afin d'atténuer les incidences sur l'utilisation des terres et la pollution. Par exemple, à l'Île-du-Prince-Édouard, des directives générales servent à évaluer les emplacements que l'on destine à des décharges. Chaque caractéristique des directives est habituellement cotée d'après une échelle allant de 0 à 10, la cote la plus élevée correspondant au meilleur site. Les incidences possibles sur l'utilisation des terres dépendent de plusieurs facteurs comme la «pollution éventuelle des eaux souterraines», «l'acceptation par le public», «l'isolation contre le bruit, la poussière et les odeurs» et «les risques de pollution des eaux superficielles». Deux autres facteurs tirés des directives de l'Île-du-Prince-Édouard – la compatibilité et la désirabilité – sont encore plus détaillés.

1) Compatibilité du site de décharge avec l'utilisation actuelle du terrain

Le site sert à l'élimination des déchets solides et son sol est de classe 2 ou 3*.	10
Le site est inactif et son sol est de classe 2 ou 3.	9
Le site est inactif et son sol est de classe 4 ou 5.	7

Le site sert à l'agriculture et son sol est de classe 4 ou 5.	5
Le site se trouve à moins de 1 000 pieds [305 m] des habitations.	3
Le site se trouve à un mille [1,6 km] au maximum d'une zone récréative.	1
Le site sert à l'agriculture et son sol est de classe 2 ou 3.	0
Le site est actuellement consacré à l'habitation.	0
Le site se trouve à un mille [1,6 km] au maximum d'une piste d'atterrissage.	0
2) Désirabilité d'une amélioration à apporter à l'utilisation actuelle des terres	
Le site est actuellement un dépotoir ou une carrière qui pourrait être amélioré.	10
Le site est actuellement abandonné et inactif.	9
Le site est actuellement utilisé par une collectivité à des fins récréatives ou autres utilisations du même ordre.	5
Le site se trouve à un mille [1,6 km] au maximum d'une piste d'atterrissage.	1
Le site fait actuellement partie d'une exploitation agricole.	0

(Île-du-Prince-Édouard, sans date)

* L'inventaire des terres du Canada est un système de classement qui groupe les sols minéraux en sept classes, selon leurs aptitudes ou leurs limites en matière de production agricole. Les sols des trois premières classes se prêtent aux cultures ordinaires à rendement continu, ceux de la quatrième classe sont de fertilité médiocre pour l'agriculture à rendement continu, ceux de la cinquième classe se prêtent uniquement au pâturage permanent de l'herbe et du foin, ceux de la sixième, uniquement au pâturage naturel, tandis que les sols et les terrains de la septième classe (qui comprend les affleurements rocheux et les petites étendues d'eau) ne se prêtent ni à l'agriculture ni à la culture permanente des herbages (Environnement Canada, 1972*b*).

Cependant, même en prenant tous les facteurs en considération, des terres agricoles exploitées peuvent être choisies pour y implanter une décharge contrôlée. Celle de St-Eleanor (Summerside) était une terre agricole (grandes cultures) et une carrière de schiste. Elle est d'ailleurs encore entourée de terres agricoles. La carrière a servi à l'entassement des ordures et la terre a fourni le matériau de couverture. Un champ a été perdu pour l'agriculture, mais à part cela, les activités agricoles n'ont pas été perturbées de façon notable.

Valeur des terres

Les incidences des décharges contrôlées varient en fonction de nombreux facteurs dont: 1) le type de propriété et l'emplacement du site; 2) la perception des utilisateurs des terres avoisinantes; et 3) la remise en état des terres.

1) Type de propriété et emplacement du site

La décharge contrôlée répond au besoin de la société d'éliminer ses ordures et, pour cette raison, l'acquisition d'un emplacement est soumise à des pressions économiques très particulières. Si la décharge contrôlée peut être installée sur des terres de la Couronne, son effet sur la valeur des terres sera mineur, étant donné qu'elle se trouvera sur un terrain qui ne risque pas d'être mis en vente sur le marché libre. Par contre s'il s'agit de terres privées, la situation n'est plus la même. En effet, le prix de ces terres a souvent tendance à monter lorsqu'il est prévu de les utiliser à des fins publiques. Les propriétaires de terrains privés admettent que des pressions sont fréquemment exercées sur l'organisme responsable pour qu'il acquière un site, afin de mettre un terme à l'incertitude ou de répondre à l'impérieux besoin d'une nouvelle décharge. Ils se rendent également compte qu'il pourrait bien ne pas y avoir d'autres sites appropriés qui soient disponibles et que c'est le gouvernement qui finance le projet.

Il existe en fait un marché captif et les vendeurs peuvent généralement obtenir un prix plus élevé pour les terrains que lorsqu'il s'agit du marché normal. Le prix des terres est habituellement fixé en fonction de l'utilisation possible la plus rentable.

2) Perception des utilisateurs des terres avoisinantes

L'opposition que suscite l'implantation de nouvelles décharges vient en fait de la crainte des répercussions qu'elles risquent d'avoir sur les terres avoisinantes. «Le public appréhende les problèmes d'hygiène, de nuisance et de sécurité et il craint que la valeur des propriétés dans le voisinage immédiat du site se déprécie» (Graff et Rogers, 1973*a*). Que la présence de décharges contrôlées fasse réellement baisser la valeur des terrains ou non, on retrouve cette crainte surtout parmi les propriétaires de maisons. Il est tout de même étonnant de constater qu'il n'existe pas, sur un sujet aussi important, de chiffres ou de rapports tendant à prouver que la valeur ou la productivité des terres changent à cause de la présence de décharges contrôlées. L'inquiétude concernant la dépréciation des terres se traduit par une forte opposition, chaque fois qu'il est question de créer une décharge. Quoique tout le monde reconnaisse la nécessité d'avoir des installations pour éliminer les ordures, personne n'en veut une trop près de sa maison. Toutefois, la crainte de voir les terres se déprécier ne semble pas être partagée par les industriels dont les terrains ne baisseront pas forcément de valeur, à cause de la présence d'une décharge.

Comme nous l'avons déjà dit, il semble y avoir un décalage entre la réaction du grand public à cet égard et l'opinion des techniciens et autres spécialistes. Au Canada, les avis des autorités concernant l'incidence des décharges contrôlées sur la valeur des terres avoisinantes sont partagés. Au Nouveau-Brunswick, où la majorité des décharges contrôlées sont situées dans des zones isolées en friche ou boisées, les autorités n'ont constaté aucune incidence marquée sur les terres avoisinantes. En Ontario, au Manitoba et à

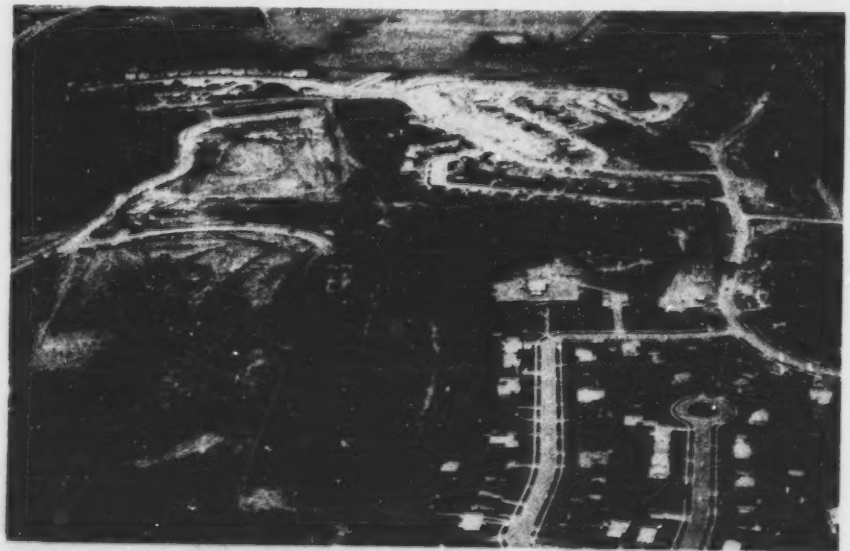


Photo 5. Lorsqu'une décharge contrôlée est située près d'un secteur résidentiel, il est normal que la population s'inquiète des incidences qu'elle peut avoir sur la valeur des propriétés et sur leur esthétique. En général, si le site est réaménagé en aire récréative, la valeur des propriétés avoisinantes augmentera et l'ensemble de la collectivité bénéficiera de cet espace vert supplémentaire.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

Terre-Neuve, on estime que les décharges contrôlées, même lorsqu'elles sont très bien gérées, ont pour effet de dévaloriser les terres environnantes, notamment dans les secteurs résidentiels, à cause des nuisances possibles comme les mauvaises odeurs, la dispersion des papiers, le percolat, les émanations de méthane et l'aspect inesthétique des lieux. La valeur des terres peut également diminuer sous l'effet des contraintes imposées en matière d'utilisation des terres avoisinantes, bien que cela ne s'applique pas nécessairement aux propriétés industrielles. En Saskatchewan, l'une des principales incidences économiques de la décharge contrôlée a été la dépréciation présumée des valeurs foncières, quoique aucune preuve n'ait pu être avancée à l'appui de cette supposition.

À l'Île-du-Prince-Édouard, les incidences sur la valeur des terrains semblent être minimes ou mêmes inexistantes. Dans la région agricole de St-Eleanor, les effets de la décharge, s'il y en a eu, sur l'utilisation, la valeur ou la productivité des terres sont négligeables. Les seules plaintes portaient sur les oiseaux qui, attirés par la décharge contrôlée, endommagent les cultures de céréales dans les champs voisins. L'éparpillement des ordures cause aussi des problèmes à l'occasion. La décharge de East Royalty à Charlottetown ne semble pas non plus avoir nui à l'utilisation des terres avoisinantes, à des fins urbaines et notamment résidentielles. Les habitations construites à proximité (90 m) du site ont été évaluées à leur juste valeur marchande, la présence de la décharge n'ayant exercé aucune influence perceptible. Le prix des maisons de valeur moyenne s'aligne sur celui des autres propriétés de Charlottetown (60 000 $ pour un duplex en 1982). De toute évidence, le promoteur immobilier a tenu compte de la présence de la décharge avant d'entreprendre les travaux de construction.

3) Réaménagement

> *«Pour les résidents des alentours qui peuvent être incommodés pendant la période d'exploitation de la décharge, il existe en général certaines compensations sous forme d'une hausse de la valeur des terrains dans toute la zone, une fois que la décharge est fermée. Étant donné que les possibilités d'utilisation de la plupart des sites de décharge sont limitées, il est préférable d'en faire des espaces libres – ce qui est sans doute le genre d'utilisation le plus apprécié dans les régions à forte densité de population»* (Glysson *et al.*, 1972).

Un point critique est atteint lorsqu'une décharge contrôlée arrive au terme de son existence. La valeur du site même, ainsi que celle des terrains environnants, est influencée par la remise en état et l'utilisation finale. «La valeur des terres augmente lorsque la décharge comblée devient une aire récréative ou industrielle»

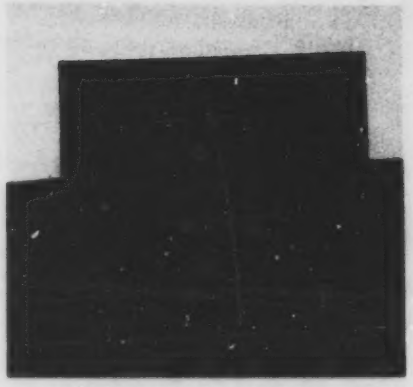


Photo 6. À Kitchener (Ontario), cette décharge contrôlée a été réaménagée en aire récréative comprenant une pente de ski et une pente de toboggan. La connaissance préalable de l'utilisation ultérieure du site permet de planifier la configuration finale du terrain et la couverture végétale.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

(Goodings, 1974). «Il arrive fréquemment que la valeur des terrains augmente de façon appréciable» (American Public Works Association, 1970).

La hausse de la valeur des terres à la suite de leur réaménagement dépend de l'usage final auquel un site est destiné. Généralement, la création d'aires récréatives augmente la valeur des propriétés résidentielles avoisinantes.

> *«Le public se préoccupe habituellement des répercussions, du point de vue de l'hygiène, des nuisances et de la sécurité quand une décharge est exploitée dans le voisinage, et il redoute que des conditions insalubres fassent baisser la valeur des propriétés adjacentes. Une exploitation exemplaire ralliera la faveur du public et rehaussera la valeur des terrains avoisinants, si le site peut être utilisé par les propriétaires d'habitations ou qu'il est aménagé en parc ou en aire récréative»* (American Public Works Association, 1970).

Il est également vrai qu'un site réaménagé pour une utilisation industrielle peut avoir une valeur foncière plus élevée que le même site remis en état dans un but résidentiel. Si, comme c'est parfois le cas, une gravière abandonnée a servi de site à une décharge contrôlée, il est clair que la valeur des terres montera lorsque le site aura été complètement remis en état. Lorsque des terres basses doivent être remblayées, la décharge peut être un atout qui donne davantage de valeur aux propriétés (Jacobs et Biswas, 1972). Un site bien réaménagé peut avoir plus de valeur qu'à l'origine.

Actuellement, les dix provinces obligent à la remise en état des sites de décharge et ce réaménagement peut aller de l'application d'une couche de terre sans régénération du couvert végétal jusqu'à une restauration totale dans un but bien précis. Le fait d'admettre que le processus approprié de fermeture d'une décharge contrôlée comprend la remise en état du site constitue un pas important en vue de satisfaire le public soucieux d'esthétique, d'atténuer les problèmes d'occupation des terres et de ne pas dévaloriser les propriétés.

Conséquences connexes

La décharge contrôlée peut donner naissance à deux sous-produits qui, s'ils ne sont pas pris en considération et surveillés convenablement, risquent d'avoir des incidences environnementales graves sur le sol, sur l'air et sur l'eau: il s'agit du percolat et du méthane. La gravité de ces deux dangers, sur le site comme sur la région environnante, varie au Canada en fonction du climat, du sol, de la topographie, de l'hydrogéologie, de l'altitude, de la composition et de la quantité des déchets, du type d'exploitation, de l'emplacement, etc. Ces deux dérivés peuvent migrer vers les terres adjacentes et, par conséquent, nuire à leur utilisation. L'emploi de certaines techniques permet de contrôler ces dangers.

Percolat

Le percolat est le liquide résultant de la décomposition d'éléments organiques. Il est également produit par l'eau qui s'infiltre dans les matières que la décharge contient. Toutes les décharges contrôlées produisent du percolat, mais la qualité et la quantité de ce liquide varient d'un endroit à l'autre. L'eau arrive soit sous forme de précipitations directes ou par l'invasion des eaux souterraines et l'infiltration ou le ruissellement des eaux superficielles en provenance des terrains environnants. À mesure que les eaux superficielles ou souterraines pénètrent dans la décharge, elles dissolvent les éléments solubles contenus dans les détritus et entraînent des matières solides en suspension et des déchets microbiens. Ces «matières solides en suspension et dissoutes transforment l'eau inoffensive en migration en un percolat possédant toutes les caractéristiques des eaux résiduaires industrielles fortement concentrées...» (Pavoni *et al.*, 1975). À mesure que le percolat s'infiltre dans le sol, la concentration des polluants s'atténue grâce aux processus naturels. La décharge absorbe l'humidité, d'où qu'elle provienne, jusqu'à ce que le point de saturation soit atteint (Mooij, 1976), après quoi elle élimine le liquide sous forme d'un percolat dont la composition dépend de celle des déchets. La décomposition des déchets produit du méthane, du dioxyde de carbone, de l'eau, des acides organiques, des nitrates, des chlorures, du calcium, des sulfures de fer et de manganèse, de l'ammoniac, de l'hydrogène sulfuré, etc. Les eaux souterraines et superficielles peuvent être fortement conta-

minées par le percolat et polluer ainsi l'eau potable, celle servant à l'irrigation, aux loisirs, à la faune, aux poissons etc.

Les études montrent que le percolat migre dans les sols adjacents, mais il est très difficile d'évaluer l'étendue de la migration des contaminants. Si nécessaire, on peut éviter la migration du percolat en le retenant dans le site et en lui faisant subir un traitement ou en modifiant la nappe phréatique, mais il s'agit là de procédés qui peuvent s'avérer coûteux. Avant de choisir et d'élaborer un système de contrôle, il convient de repérer et de surveiller les facteurs qui influent sur les caractéristiques qualitatives et quantitatives du percolat, le principal étant le degré d'humidité qui pénètre le site.

L'infiltration d'eau peut être contrôlée au moyen des mesures suivantes: l'application d'une couche adéquate de matériau de couverture qui, une fois compactée, devient presque imperméable; le nivellement de la surface pour prévenir la formation de mares; le creusage de fossés pour faciliter et diriger le drainage et l'écoulement des eaux superficielles vers des endroits éloignés de la décharge; l'emploi d'une couverture végétale pour atténuer l'érosion et améliorer l'écoulement et l'évapotranspiration.

Toutefois, la végétation risque de freiner le ruissellement et de provoquer une infiltration plus prononcée, multipliant par le fait même les possibilités de produire du percolat. La contamination des eaux souterraines peut être contrôlée par la collecte au moyen de tuiles enfouies, de tranchées parafouilles, de fossés couverts, de bassins ou de puits collecteurs spécialement conçus et d'installations de pompage. Ces systèmes de collecte seront situés soit en sous-sol, soit autour ou en aval du site. Un traitement préalable peut être nécessaire si une partie du percolat qui s'échappe risque d'avoir des effets nocifs sur la qualité de l'eau souterraine. Il est indispensable d'exercer une surveillance qui permette la mise en vigueur d'un plan d'urgence avant qu'une contamination grave ne se produise. On utilise fréquemment pour cette surveillance un groupe de puits, qui sont placés à différents points en bordure du site. Le percolat peut être traité à une usine d'épuration des eaux après avoir été déversé dans un égout séparatif ou, si cela est impossible pour des raisons de commodité ou à cause des caractéristiques du percolat, il doit être recueilli et traité sur place. Cependant, la collecte et le traitement du percolat ne sont généralement pas rentables et d'autres solutions, comme la recirculation ou des barrières d'argile, sont plus souvent employées.

Les caractéristiques du percolat peuvent également être contrôlées par une sélection préalable des déchets qui sont déposés dans la décharge. Une forte proportion des déchets municipaux ordinaires se décomposent pour former des polluants qui peuvent migrer vers les terrains environnants (Pavoni *et al.*, 1975). «La nocivité du percolat des décharges municipales est en grande partie attribuable aux textiles, au caoutchouc, au cuir, au bois, au papier et au carton présents dans les déchets» (Mooij, 1976). Les déchets dangereux ne devraient pas être déversés clandestinement dans les décharges contrôlées, parce que le percolat risque alors de contenir des substances toxiques qui, si elles s'infiltraient dans les eaux souterraines, nuiraient considérablement à la santé de l'homme.

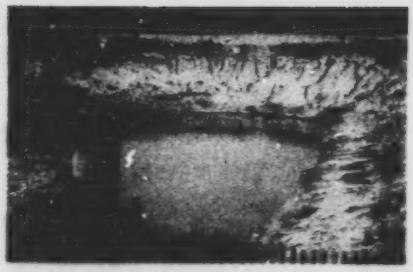


Photo 7. Cette photo montre un bassin de collecte du percolat non traité sur le site.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

Le contrôle du type de déchets et de l'infiltration de l'eau dans la décharge s'avère parfois impraticable. Lorsque l'environnement risque d'être contaminé sérieusement, il peut être nécessaire de «poser des membranes imperméables au fond et sur les côtés de la décharge pour recueillir les liquides migrateurs et empêcher qu'ils pénètrent dans les terres avoisinantes... Le liquide recueilli peut être transporté dans une usine d'épuration où il sera rendu inoffensif» (Pavoni *et al.*, 1975). Les mesures préventives choisies comprennent, entre autres, l'emploi d'argile ou de plastique pour collecter le percolat, la recirculation et les installations de traitement.

La question de la production de percolat doit être considérée au moment du choix de l'emplacement. Idéalement, la décharge contrôlée devrait être située de manière à éviter tout contact direct avec les eaux souterraines ou superficielles. Certaines formations rocheuses comme le calcaire fissuré doivent être évitées, ainsi que les zones où le sol à grains fins est peu profond ou inexistant. La proximité des puits, sources et cours d'eau à découvert doit aussi être prise en considération.

Méthane

Le méthane est un produit dérivé de la décomposition des déchets organiques d'une décharge contrôlée. Il importe, au moment de situer et de concevoir une décharge, de prévoir des mesures préventives à ce sujet. En outre, les dangers latents que pose le méthane sont un des facteurs qui doivent être pris en considération lors du choix de l'utilisation finale d'un site de décharge.

«La quantité et la qualité des gaz émanant d'une décharge dépendent de la nature du processus de décomposition ainsi que des propriétés physiques et chimiques des matières en présence» (Ecologistics Limited *et al.*, 1980). De plus, la quantité de méthane produit est proportionnelle au volume de détritus. Dans les décharges contrôlées, le processus de décomposition des ordures comprend plusieurs étapes. En phase initiale, lorsque l'oxygène est présent, la décomposition se fait en milieu aérobie; une chaleur intense se dégage, le principal gaz produit étant le dioxyde de carbone, puis la quantité d'oxygène diminue. À mesure que l'oxygène se raréfie, la décomposition organique devient anaérobie, et les principaux gaz produits sont le méthane, le dioxyde de carbone et l'hydrogène sulfuré (Stone, 1977; Pavoni *et al.*, 1975). L'hydrogène sulfuré est le principal responsable des mauvaises odeurs dégagées par les décharges contrôlées. Au cours du dernier stade de décomposition, le méthane représente 50 % ou plus de tous les gaz produits. La production de méthane peut commencer dès les premiers mois ou de nombreuses années après le dépôt des ordures. «La production totale de méthane dépend de la composition des ordures mais, théoriquement, environ six pieds cubes et demi de méthane peuvent se dégager de chaque livre de déchets [environ 400 l de méthane pour 1 kg d'ordures]» (Reindl, 1977*b*). Les matières peuvent produire du méthane même cent ans après qu'elles ont été déposées dans une décharge (Anon., 1979*a*).

Quels sont les dangers que fait courir ce gaz? Le méthane est extrêmement combustible; il risque de causer des incendies ou des explosions lorsqu'il se trouve dans l'atmosphère à des teneurs allant de 5 à 15 % par volume (Ontario Ministère de l'Environnement, 1981*a*, 1981*b*; Stone, 1977; Flower *et al.*, 1977). Lorsqu'il y a différence de pression, le méthane se diffuse à travers les matières poreuses. «... plus le milieu est perméable plus il est facile pour le méthane de migrer à travers lui. Par exemple, un milieu granulaire non saturé comme le sable et le gravier offrira peu de résistance au méthane, tandis qu'un milieu saturé et dense comme l'argile mouillée constituera une barrière» (Ontario Ministère de l'Environnement, 1981*b*). Dans certaines conditions, le méthane produit par les décharges migrera dans les structures, les tranchées des services publics et les égouts. «L'accumulation de gaz peut provoquer des explosions qui ont, dans tous les cas, des effets désastreux. L'allumage d'un moteur d'automobile ou différentes activités entreprises au sol peuvent déclencher une explosion. En outre, les installations souterraines des services publics, notamment les conduites électriques, doivent être conçues avec soin pour prévenir toute accumulation de méthane» (Ontario Ministère de l'Environnement, 1981*d*).

Toutes les régions du Canada n'envisagent pas de la même manière les dangers que fait courir ce gaz. À l'Île-du-Prince-Édouard, les autorités affirment que le méthane n'a pas causé de problèmes; il semble que le gaz monte lentement vers la surface en traversant la couche de limon sableux et ne migre pas horizontalement. Terre-Neuve et le Nouveau-Brunswick n'ont signalé aucun cas d'accumulation de méthane dans les décharges, qu'elles soient désaffectées ou en exploitation. En Colombie-Britannique, l'accumulation de méthane est considérée comme un problème; cependant, la plupart des sites, qui se trouvent généralement dans des régions assez éloignées, sont simplement recouverts et inutilisés. De plus, des gaz d'hydrogène sulfuré se sont dégagés des plâtras enfouis dans des terrains bas et humides.

D'autres provinces comme le Manitoba, l'Ontario et la Saskatchewan font état de difficultés éprouvées à cause du méthane. Au Manitoba, on a signalé un cas d'accumulation de gaz dans le secteur de Saint-Boniface de la ville de Winnipeg. Un certain nombre d'immeubles industriels et commerciaux érigés sur d'anciennes décharges ou non loin d'elles ont dû être évacués à cause de la présence de méthane. La ville a décidé de racheter ces immeubles et de verser des indemnités aux propriétaires pour qu'ils se relogent ailleurs. Des mesures de cet ordre pourraient être évitées si l'on interdisait la construction d'immeubles sur des décharges désaffectées ou non loin d'elles.

En Ontario, des problèmes dus à la migration du méthane se sont manifestés à London, Mississauga, Ottawa, Hamilton, Oshawa et Whitby et, dans tous les cas, des mesures palliatives ont été prises, soit sur le site, soit dans les secteurs environnants. Étant donné les conséquences multiples de la formation de méthane, le ministère de l'Environnement de l'Ontario étudie actuellement la production, la migration, le captage et le contrôle de ce gaz sur l'emplacement des décharges.

Le méthane et d'autres gaz, comme le dioxyde de carbone, générés par les ordures ont des effets nuisibles sur la végétation, soit parce qu'ils sont directement toxiques, soit parce qu'ils déplacent et utilisent l'oxygène de la rhizosphère, causant ainsi l'asphyxie des plantes (Ontario Ministère de l'Environnement, 1981*d*; Flower *et al.*, 1977).

> *«Avant 1960, il était fréquent de faire brûler les déchets dans de nombreuses décharges. Cette méthode était une source de pollution de l'air et de problèmes relatifs aux vecteurs de maladie, mais elle avait néanmoins pour résultat de laisser dans la décharge à peu près uniquement des matières résiduelles non biodégradables. Cela signifiait également que, une fois la décharge fermée, beaucoup moins d'affaissements se produisaient et que la formation de gaz anaérobies serait à peu près nulle. La décharge moderne ne permet plus l'incinération à ciel ouvert, et c'est pourquoi elle est une excellente source d'alimentation pour les microorganismes. Ce sont ces derniers qui engendrent les gaz, surtout le dioxyde de carbone et le méthane, nuisibles à la végétation»* (Flower *et al.*, 1977).

La présence, à forte dose, de dioxyde de carbone et d'autres gaz dans la rhizosphère des plantes peut être toxique. «Dans tous les cas, nous associons la persistance des concentrations élevées de gaz combustibles dans le sol au mauvais état et éventuellement à la mort des plantes» (Flower *et al.*, 1977).

L'une des propriétés les plus étonnantes du méthane est sa facilité à se répandre. Les mécanismes de déplacement des gaz à travers les déchets et le sol sont extrêmement complexes, mais les gaz tendent habituellement à migrer de la décharge en empruntant la voie qui offre le moins de résistance (Reindl, 1977*c*).

> *«En général, la distance parcourue par le méthane dans un matériau à grain fin comme l'argile (non saturée) est de l'ordre de quelques pieds, tandis que, dans le matériau à gros grain comme le gravier (non saturé), la distance atteindra parfois des centaines de pieds.*
>
> *La migration latérale du méthane est facilitée lorsque la couverture est moins perméable que le matériau sous-jacent. Elle devrait être maximale en hiver lorsque le sol superficiel est couvert de neige et de glace, et au début du printemps lorsqu'il est imbibé d'eau de fonte. Dans ces conditions, l'évacuation naturelle du méthane par la surface est entravée, ce qui provoque une pression de gaz supplémentaire dans la zone de la décharge. Le méthane doit donc migrer latéralement et sur une plus grande distance dans le matériau voisin. La migration latérale est particulièrement prononcée lorsqu'il y a une succession de lits dont la perméabilité est très variable»* (Ontario Ministère de l'Environnement, 1981*b*).
>
> *«De nombreuses décharges sont construites dans le sol à des profondeurs supérieures à 50 pieds [15 m]. Cette épaisseur considérable d'ordures associée au tassement très dense et à l'application quotidienne d'une couche de matériau de couverture risque de provoquer une pression élevée des gaz, parfois supérieure à 5 livres par pouce carré [environ 35 kPa]. Ces gaz sortent par la voie la plus accessible, ce qui signifie qu'ils peuvent parfois se déplacer sous le sol et s'échapper par les côtés de la décharge. Les terrains adjacents aux anciennes carrières de sable et de gravier se prêtent particulièrement bien à cette migration. Les gaz de la décharge peuvent migrer dans des zones où ils nuisent aux plantes, allant même jusqu'à les faire mourir. Ils peuvent aussi migrer dans des bâtiments et provoquer des incendies ou des explosions. Les décharges installées dans d'anciennes carrières de sable et de gravier sont reconnues pour favoriser particulièrement la migration des gaz qu'elles engendrent dans les sols environnants, qui sont souvent très poreux et n'opposent pas de résistance au mouvement de ces gaz. Lorsque les sols adjacents sont formés de couches horizontales de sable et de gravier intercalées de couches d'argile, la distance parcourue est souvent encore plus grande, parce que l'argile tend à empêcher le mouvement vertical et l'échappement des gaz du sol. Le gel de la surface terrestre et les pluies prolongées semblent aussi favoriser la migration latérale de ces gaz»* (Flower *et al.*, 1977).

C'est pourquoi les bâtisses et la végétation risquent d'en souffrir non seulement sur les sites de décharges désaffectées ou encore en service, mais fréquemment aussi dans les zones adjacentes. Dans les cas exposés par Flower *et al.*, la migration latérale des gaz de décharge a dépassé 250 m et eu des répercussions sur les terres agricoles et résidentielles environnantes.

Comment le méthane peut-il être contrôlé? Les méthodes de contrôle varient selon que la quantité ou le taux de production de méthane doit être réduit ou accru (comme source d'énergie). Dans certains cas, une zone tampon est prévue autour de la décharge pour laisser une issue naturelle, qui permet au gaz de se disperser et l'empêche de migrer dans les terres voisines par les matériaux sous-jacents. D'autres méthodes contrôlent la migration, la sortie et l'élimination du méthane en l'interceptant ou en le libérant dans l'atmosphère par des moyens qui vont des systèmes passifs aux systèmes actifs les plus élaborés, par exemple: 1) les tranchées remplies de matériaux très perméables comme le sable ou le gravier; 2) les tranchées découvertes; 3) les tranchées creusées dans du matériau très peu perméable comme l'argile ou garnies d'une feuille de plastique; 4) des tuyaux de ventilation ou des puits à gaz avec ou sans ventilateurs aspirants; 5) toute combinaison de ces systèmes (Ontario Ministère de l'Environnement, 1981*a*, 1981*b*).

Il importe également de surveiller les concentrations et les pressions du méthane sur le site pour établir les gradients de pression autour de la décharge et savoir ainsi quelle direction donner à l'écoulement.

Lorsque la municipalité de Milton en Ontario décida de construire un centre d'accueil pour les jeunes sur une ancienne décharge contrôlée, elle eut la précaution de creuser une tranchée parafouille de 600 m de large remplie de pierre con-

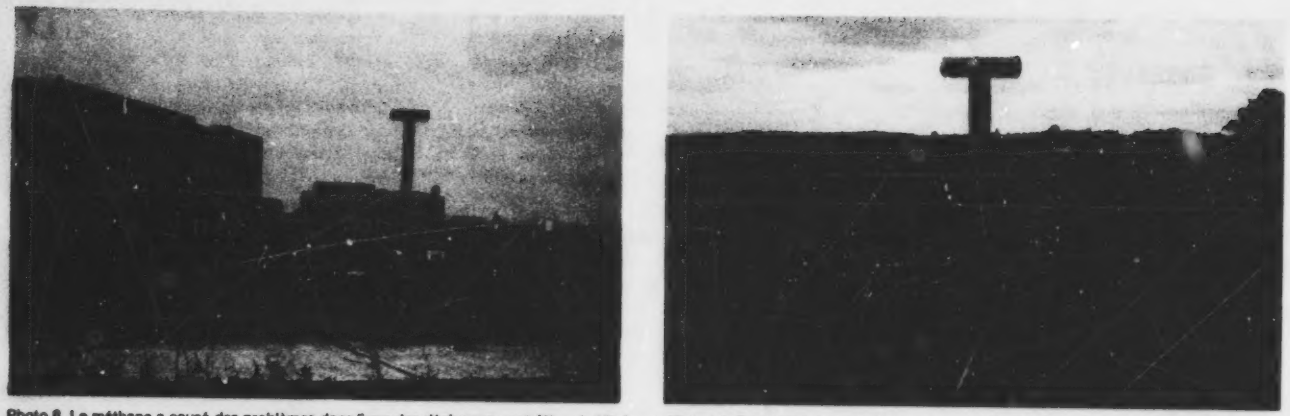


Photo 8. Le méthane a causé des problèmes dans l'une des décharges contrôlées de Kitchener (Ontario). Des tuyaux de mise à l'air libre ont été installés sur le site pour contrôler et disperser ce gaz, opération particulièrement importante s'il y a des structures à proximité.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

cassée, puis un tuyau collecteur perforé de 100 mm fut installé dans la pierre et mis en communication avec l'atmosphère par trois cheminées verticales.

La ville de Kitchener, en Ontario, a eu de nombreux problèmes avec le méthane des décharges. «En 1968, la municipalité a adopté un arrêté stipulant que, dans les développements futurs situés dans un rayon de 200 pieds [61 m] d'une décharge, des systèmes de drainage et de ventilation des tuiles suintantes doivent être prévus et que de la peinture époxydique doit être utilisée pour les fentes des parquets et des murs» (Anon, 1979*a*). Cette ville a dépensé des centaines de milliers de dollars pour des systèmes de mise à l'air libre du méthane et la surveillance des habitations et du sol entourant une décharge.

Il est possible de limiter la production de méthane en imposant que seuls certains déchets soient déposés sur le site afin que, pendant la phase de décomposition, il ne se forme que certains sous-produits gazeux. La décomposition anaérobie peut être évitée par l'addition d'oxygène, de sorte que seul du dioxyde de carbone sera produit. Cependant, les exploitants doivent veiller à ne pas provoquer d'incendies dans la décharge.

Les barrières d'argile (revêtement et couverture) et les systèmes de mise à l'air libre et de combustion sont ceux le plus communément employés pour contrôler le méthane. La couverture argileuse aide à prévenir l'infiltration d'humidité. Le choix judicieux d'un emplacement, l'utilisation du matériau de couverture approprié et une exploitation efficace contribuent également à réduire les dangers que présente le méthane.

Certaines mesures, comme une fertilisation adéquate, l'amendement et l'irrigation du sol, l'évacuation des gaz de décharge qui se trouvent dans la zone végétale, l'emploi d'espèces végétales tolérantes et les techniques de plantation appropriées, peuvent être adoptées pour minimiser les répercussions sur la végétation (Flower *et al.*, 1977).

Les dangers du méthane sont l'une des raisons qui expliquent l'existence des zones tampons ou zones de séparation prescrites dans les directives ou les lois provinciales. L'utilisation ultérieure de décharges désaffectées et la distance qui doit être laissée entre ces sites et les bâtiments situés à proximité sont des considérations importantes.

Récupération du méthane

Bien que ce gaz comporte des dangers pour les utilisateurs des terres adjacentes s'il n'est pas correctement contrôlé, il peut également être canalisé et servir de source d'énergie pour ces mêmes utilisateurs. «L'utilisation des gaz de décharge comme source d'énergie est intéressante, étant donné la concentration élevée (50 %) de méthane présente pendant la dernière phase de décomposition, l'augmentation des prix de l'énergie...» (Reindl, 1977*c*).

Au Canada, l'Ontario semble être la première province à avoir évalué le potentiel énergétique du méthane. Par exemple, le méthane produit à la décharge de Kitchener est actuellement récupéré et utilisé pour le chauffage des fours d'une usine des environs.

En 1978, on a entrepris à la décharge de St. Thomas Collection Services Limited, d'évaluer et de démontrer la faisabilité, sur le plan matériel et économique, de la récupération des gaz et des techniques d'utilisation. Cette étude débute par une période de trois ans et elle a été financée par Environnement Canada et les ministères ontariens de l'Environnement et de l'Énergie. Le système installé sur ce site pompait le gaz d'un puits creusé dans la décharge et l'utilisait pour chauffer une serre sur les lieux. «Une chaudière ordinaire à gaz à air pulsé, légèrement modifiée, a servi à chauffer la serre pendant l'hiver de 1979. On a fait pousser des plants de tomate et des plantes ornementales dans la serre à partir de février 1979» (Conestoga-Rovers & Associates, 1979).

Le site de cette décharge se divise en deux sections. La première, de 5,7 ha, a été en exploitation de 1949 environ à 1967 et elle avait une profondeur de 6,1 à 9,2 m. La section 2, de 9,7 ha exploitée de 1967 à 1978, avait une profondeur moyenne de 12,2 m. Les installations de récupération et d'utilisation du gaz étaient situées dans cette dernière section.

La serre a été construite tout près de la pompe sur la décharge même, parce qu'il n'y avait pas d'autres terrains disponibles à proximité. Cette solution a été adoptée parce qu'elle était celle qui permettait le mieux de démontrer l'utilité des gaz de décharge, étant donné qu'une serre exige de grandes quantités de chaleur et qu'elle a un coût d'immobilisation assez faible. Les résultats montrent que la récupération et l'utilisation à l'état brut des gaz de décharge sont satisfaisantes tant du point de vue technique qu'économique. La récupération des gaz produits par les décharges revêt une importance capitale dans le contexte canadien, notamment pendant l'hiver, lorsque la demande d'énergie est très forte. Le chauffage d'une serre n'est pas la seule utilisation possible de ce gaz.

«Les autres utilisations peuvent être classées en fonction du degré de traitement que le gaz de décharge brut doit auparavant recevoir.

Le gaz de décharge à l'état brut peut être brûlé directement dans les appareils à gaz naturel et, dans ce cas, il le remplacera, à condition de corriger sa faible valeur thermique et sa nature corrosive. Parmi les utilisations faciles et rentables, il y a lieu de mentionner: le séchage des céréales, le

chauffage des appartements et des entrepôts, le chauffage industriel et peut-être même le chauffage des grosses chaudières industrielles. Ces utilisations ne pourraient être entreprises qu'à une distance relativement courte de la décharge, parce que le coût d'un pipe-line en anéantirait rapidement les avantages économiques. . . .

Pour obtenir un gaz relativement pur, dont la qualité serait comparable à celle du gaz naturel, et pouvoir l'injecter directement dans les pipe-lines existants, il faudra que le gaz de décharge soit débarrassé de son humidité, du CO_2 et des traces de polluants qu'il contient» (Conestoga-Rovers & Associates, 1979).

Au Canada, ce traitement est actuellement trop cher pour être rentable. Toutefois, aux États-Unis, cette méthode est pratiquée commercialement sur les grandes décharges.

«Le gaz de décharge purifié et liquéfié peut également fournir un carburant pour les automobiles et les camions. Le procédé n'est pas encore commercialisé mais la technologie existe. . . .

Les petites centrales énergétiques situées dans les endroits éloignés des lignes de transport peuvent néanmoins s'avérer rentables si le coût des installations de transport est inclus dans une analyse économique» (Conestoga-Rovers & Associates, 1979).

Une étude de faisabilité est actuellement en cours à Toronto afin de voir quelles sont les possibilités matérielles, techniques et économiques de l'utilisation du méthane produit par la décharge contrôlée de Beare Road pour chauffer le jardin zoologique de cette ville, une serre assez grande et un chalet de ski. La première étape de cette étude a pris fin en 1982.

Malgré le fait que le méthane produit par les décharges contrôlées représente un potentiel énergétique, il n'en demeure pas moins une menace grave pour l'environnement. Le contrôle du méthane doit être pris en considération au moment du choix de l'emplacement et de la conception, de l'exploitation et de la restauration des décharges contrôlées; il importe de protéger la santé et la sécurité du public et de réduire au minimum les incidences environnementales.

Considérations sociales: facteurs humains

Le milieu social est beaucoup plus difficile à évaluer et à définir que le milieu physique. Cependant, il se peut que des facteurs sociaux annulent des décisions prises tant par les hommes politiques que par les techniciens. Étant donné son influence éventuelle sur la prise de décision, il faut tenir compte de la réaction du public à l'égard des décharges.

Photo 9. Le brûlage des ordures dans les dépotoirs contribue à rendre le public méfiant à l'égard des décharges contrôlées.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

Considérations visuelles et esthétiques

Pour le Canadien moyen, une décharge contrôlée évoque l'image d'un dépotoir malodorant, poussiéreux, bruyant, peu agréable à la vue, parsemé de feux à ciel ouvert, infesté de rats porteurs de maladies et donnant asile à une foule de charognards. Pour toutes sortes de raisons, l'opposition du public est l'un des facteurs les plus influents au moment du choix de l'emplacement de nombreuses décharges contrôlées. L'acceptation ou le refus du public sont des éléments essentiels dans le choix d'un emplacement, et dont l'importance est nettement reconnue dans les manuels et les ouvrages consacrés à l'élimination des ordures.

«Il faut constamment tenir compte de l'opposition du public, tout aussi bien pendant qu'après la phase du choix de l'emplacement. Toutes choses étant égales d'ailleurs, le site qui éventuellement rencontrera le moins d'opposition de la part du public doit être choisi de préférence à celui qui risque de susciter de nombreuses controverses sur le plan local» (Stone, 1977).

«Il est douteux qu'un site puisse être choisi et une décharge installée et exploitée sans quelque opposition de la part du public» (Reindl, 1977*d*).

L'opposition aux décharges contrôlées a plusieurs causes: l'ignorance du public quant aux méthodes spécifiques d'élimination des ordures, ses préoccupations et son manque d'informations précises à ce sujet; la mauvaise réputation des anciennes décharges contrôlées; le manque d'intérêt des planificateurs et des exploitants pour les questions d'esthétique.

«La crainte qu'ont les gens du traitement et de l'élimination des déchets dans leur région résulte du fait qu'ils associent cette activité avec celle d'un dépotoir» (Générale Électrique, 1975). À l'annonce de l'installation d'une décharge contrôlée dans leur voisinage, certaines personnes prennent peur, croyant qu'il s'agit d'un dépotoir. Par ailleurs, les sites destinés à l'élimination des déchets, y compris les dépotoirs, sont souvent, mais à tort, confondus avec les décharges contrôlées. Il n'est pas rare que les dépotoirs soient exploités sans que l'on se soucie le moindrement de leur aspect ou de la pollution. La majorité de la population ignore les directives rigoureuses qui réglementent le choix d'un emplacement, la conception et les méthodes d'exploitation d'une décharge contrôlée et qui font toute la différence entre celle-ci et un vulgaire dépotoir. Peu de gens savent qu'il existe une grande variété d'installations, qui sont destinées à l'enfouissement des ordures dans le sol, et dont nous donnons ci-dessous une définition:

«Le dépotoir est un site d'élimination à découvert où sont déposés les déchets solides ou liquides, sans tenir compte des questions de pollution ou de l'aspect esthétique. Les fumées qui s'en dégagent et la présence de charognards et d'organismes porteurs de maladies sont les principaux problèmes associés aux dépotoirs.

La décharge est un terrain servant à l'élimination des déchets, mais sans tenir compte des effets possibles sur les ressources en eau, et où les détritus sont recouverts à certains intervalles d'une couche de terre pour minimiser les problèmes relatifs aux charognards, à l'aspect esthétique, aux maladies et à la pollution de l'air.

La décharge contrôlée, elle, a recours à des moyens techniques pour le dépôt des déchets solides sur le sol, afin de réduire les risques de perturbation de l'environnement. Les ordures sont étalées en couches minces, puis compactées le plus possible et, à la fin de chaque jour d'activité, un matériau de couverture est ajouté puis compacté. [La décharge contrôlée modifiée répond à la même définition, à la différence que l'application du matériau de couverture ne se fait pas quotidiennement.]

La décharge sécuritaire est un site destiné à l'élimination des déchets où aucune modification hydraulique n'est autorisée, où les détritus sont déposés dans des contenants pour les isoler du milieu ambiant, etc., et dont l'accès est limité et constamment surveillé.

Les [quatre] premiers ... types d'emplacement, qui sont conçus pour recevoir avant tout les déchets municipaux et commerciaux, peuvent ou non recevoir les boues d'égout et, en outre, recevoir des déchets dangereux avec ou sans le consentement de l'exploitant. . . .» (James, 1977).

Le deuxième facteur contribuant à la réaction négative du public est la mauvaise réputation de certaines méthodes d'élimination des déchets qui ont été utilisées dans le passé. Certaines décharges soi-disant contrôlées n'étaient pas exploitées conformément aux normes techniques en vigueur. Il arrivait que des décharges contrôlées étaient laissées à l'abandon sans que l'on se soucie de prévenir la pollution ou les incidences sur les terres environnantes et leurs utilisateurs. En l'occurrence, ce peu de respect des normes techniques est venu renforcer la crainte du public vis-à-vis de toute installation d'élimination des ordures dans leur région.

En troisième lieu, le manque de considération de la part des planificateurs et des exploitants pour les effets de la décharge sur le plan humain joue aussi un rôle.

«Il semble que personne ne veuille jamais d'une décharge à proximité de sa maison. En fait, la majorité des gens croient qu'avec les décharges, il y a éparpillement de papiers, pollution des eaux souterraines, invasion de rats, dégagement de mauvaises odeurs, bruit et dangers dans la rue causés par les camions, réduction de la valeur des propriétés, et pis encore» (Reindl, 1977*d*).

Il est évident que ces sujets préoccupent le public. Toutefois, les planificateurs, les ingénieurs et autres techniciens chargés du choix de l'emplacement ou de l'exploitation des décharges contrôlées les désignent généralement sous le nom de «nuisances». «Le public manifeste une aversion très forte envers les nuisances liées à n'importe quelle méthode d'élimination des déchets, que ce soit la circulation intense, la puanteur, le bruit, la pollution de l'air et de l'eau, les papiers ou l'aspect inesthétique en général. . .» (Graff et Rogers, 1973*a*).

Le fait de surestimer l'importance de ces nuisances est souvent à l'origine de l'opposition manifestée, notamment dans les secteurs résidentiels. Toutefois, cette attitude est loin d'être toujours partagée par tous et c'est en fait cette divergence considérable d'opinions qui a causé de graves problèmes. Cette constatation est particulièrement évidente quand vient le temps de choisir l'emplacement de nouvelles installations. Il est arrivé parfois que le site qui convenait le mieux du point de vue physique et écologique n'ait pas été retenu à cause de l'opposition du public et des pressions subséquentes exercées par l'intermédiaire des représentants politiques, et qu'un emplacement moins approprié, écologiquement parlant, mais plus acceptable sur le plan social, ait été choisi. Quelle ironie de constater que, parce qu'un individu craint que sa propriété ne soit endommagée ou enlaidie, il faille choisir un site pouvant entraîner davantage de pollution ou de frais pour la collectivité.

Il n'est donc pas surprenant que l'observation suivante ait été faite:

«L'industrie continuera d'avoir de la difficulté à installer des décharges, même si l'on peut prouver qu'elles satisfont aux normes techniques, car le problème ne relève qu'à demi de considérations de cet ordre. Le reste du problème se situe dans ce monde mouvant et impondérable des perceptions sociales, des enjeux politiques et autres facteurs de même nature» (Anon., 1978*c*).

Bien que l'importance de ces considérations sociales soit admise, très peu de recherches ont été entreprises dans ce sens.

Passons rapidement en revue chacun des facteurs esthétiques en cause, c'est-à-dire les papiers, la puanteur, le bruit et les vecteurs de maladies.

Papiers. «Les papiers poussés par le vent représentent le problème le plus fréquemment mentionné dans une enquête menée au sujet des décharges par la Société américaine des ingénieurs civils» (Graff et Rogers, 1973*a*). Peut-être plus que tout autre facteur, les papiers éparpillés par le vent sont, sur le plan visuel, le sujet d'inquiétude par excellence pour beaucoup de gens. Les papiers soulevés par le vent n'offrent pas un spectacle agréable à la vue; s'ils doivent être dispersés un peu partout, le voisinage perdra une partie de son attrait tant pour les résidents que pour les acheteurs éventuels. La première impression est importante et la présence de papiers charriés par le vent n'améliorera pas l'aspect ou la valeur d'une zone voisine d'une décharge.

Puanteur. Cette nuisance est celle qui est la plus communément associée aux sites destinés à l'élimination des ordures. La mesure dans laquelle le milieu environnant est touché dépend du genre de déchets déposés, de la température, du vent et des méthodes d'exploitation de la décharge. Lorsqu'un site est correctement exploité, ce problème est très atténué. Cependant, lorsque les déchets se composent d'une forte proportion de protéines organiques, que les conditions atmosphériques combinent des températures élevées, des inversions et des vents dominants et qu'en plus les méthodes d'exploitation laissent à désirer, les mauvaises odeurs peuvent se propager bien au-delà du voisinage immédiat de la décharge. Il est normal qu'une telle situation provoque des plaintes, particulièrement de la part des résidents, des commerçants et des utilisateurs d'installations récréatives.

Bruit. La collecte et le transport des ordures de leur point d'origine jusqu'à la décharge, et les activités sur le site même nécessitent l'emploi de gros camions, de compacteurs et d'engins de terrassement. «...le bruit des camions est franchement assommant et il peut entraîner des troubles auditifs si le nombre de décibels est continuellement excessif. Ce problème devient particulièrement aigu lorsque les secteurs résidentiels sont situés près des routes d'accès» (Stearns et Ross, 1973). Le bruit est en général plus prononcé sur le site même, mais si le bruit des camions ou des machines se propage dans les zones résidentielles, commerciales et récréatives environnantes, il peut déranger les personnes qui y vivent ou y travaillent. Cette incidence n'aura pas la même portée dans une zone déjà occupée par l'industrie lourde ou l'extraction minière.

Une fois que la décharge contrôlée fonctionne, l'accroissement de la circulation a d'importantes répercussions sur l'utilisation des terres adjacentes, elle provoque une augmentation du niveau de bruit et du nombre total de véhicules qui circulent dans la région et entraîne la nécessité d'établir un programme efficace d'entretien des routes.

Qualité de l'air. La poussière constitue un problème constant le long des voies d'accès et autour de la décharge, pendant les périodes de sécheresse ou de vent, ou dans les régions sèches, surtout lorsque le sol et le matériau de couverture sont composés de grains fins. La poussière peut réduire la visibilité dans la zone de la décharge, être une nuisance pour de nombreuses activités des résidents (séchage du linge à l'extérieur, lavage des voitures et des fenêtres, peinture) et gêner les activités de plein air. Le passage fréquent des camions et l'emploi d'engins lourds avec les émissions accrues des gaz d'échappement peuvent détériorer la qualité de l'air le long des routes d'accès et sur le site même.

Vecteurs de maladies. Un vecteur est «un animal ou un insecte qui transmettent des maladies infectieuses d'un homme ou d'un animal à un autre, par morsure ou par dépôt de germes pathogènes sur la peau, la nourriture ou autres» (Environnement Canada, 1978). Les mouches, moustiques, rats et oiseaux sont les principaux vecteurs qui fréquentent les décharges et c'est le contrôle de ces animaux, pour des raisons évidentes d'hygiène, qui distingue la décharge contrôlée exploitée selon les normes de la décharge ordinaire et du dépotoir. Certains vecteurs comme les rats et les mouches sont parfois apportés sur les lieux avec les ordures, mais tous les vecteurs seront attirés par ce genre de site, s'il n'est pas exploité convenablement. Les oiseaux, notamment les mouettes, constituent un danger non seulement pour la santé mais aussi la circulation aérienne (Solman, 1973; McNeil *et al.*, 1973).

Prise en considération des préoccupations d'ordre visuel et esthétique

Quelles mesures prendre pour atténuer les incidences inesthétiques et indésirables des décharges contrôlées? Certains moyens peuvent être mis en place au moment du choix de l'emplacement ou au stade de la conception et de l'exploitation. D'abord, le processus de sélection de l'emplacement offre la possibilité de tenir compte des préoccupations de la population. Les sites éventuels devraient être évalués en fonction de leur compatibilité avec les utilisations actuelles et futures. Les effets défavorables sur les zones résidentielles, particulièrement sensibles à la présence de décharges contrôlées, seront minimisés en situant la décharge à une certaine distance ou hors de la vue de ces zones. Le choix d'un secteur où sont déjà installées ou prévues des industries lourdes ou des activités d'extraction minière sera plus acceptable.

Il est possible qu'une décharge ait un aspect moins désagréable, grâce à une planification soignée du site. Par exemple une berme ou un talus pourrait isoler efficacement la décharge et, une fois plantés d'herbe et de buissons, ils offriraient à l'oeil un paysage agréable qui ferait écran et amortirait les bruits. Il est également possible de prévoir une entrée décrivant une courbe avec un aménagement paysager attrayant.

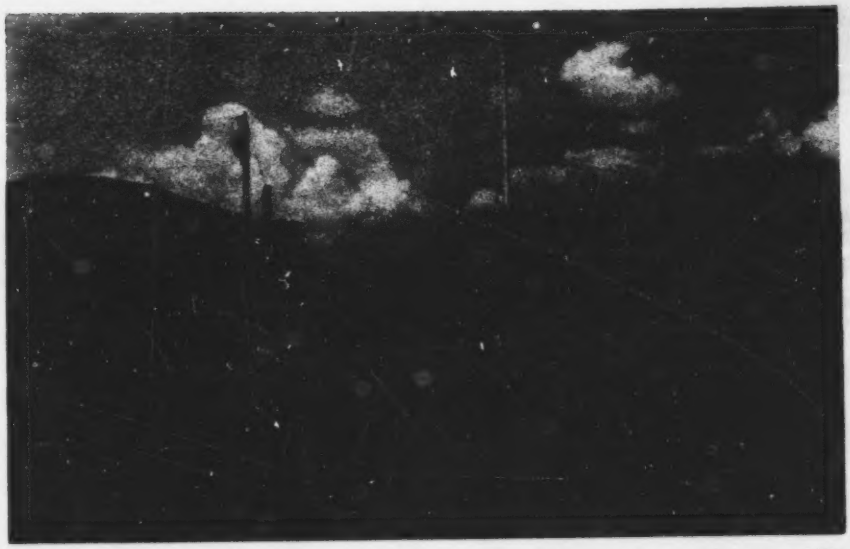


Photo 10. Une entrée asphaltée et des camions à benne couverte améliorent l'exploitation d'une décharge contrôlée d'Ottawa (Ontario).
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

Le nombre de plaintes formulées au sujet du bruit, de la mauvaise qualité de l'air, des papiers emportés par le vent, de la puanteur et des vecteurs sera moindre si l'on prend certaines mesures pendant l'exploitation de la décharge. Par exemple, les problèmes causés par le bruit seraient atténués si les opérations étaient effectuées pendant la journée à des heures raisonnables. Les plaintes relatives au bruit, à la poussière et aux gaz d'échappement des camions seront réglées si les voies d'accès ne passent pas par les zones résidentielles, récréatives et même commerciales et si l'horaire des activités du site est établi de telle façon que les camions ne roulent pas aux premières et aux dernières heures de la journée. Les voies d'accès peuvent être améliorées en les arrosant ou en les asphaltant.

Un programme efficace de lutte contre l'éparpillement des papiers devrait comprendre non seulement des moyens mis en place au moment de la conception comme les bermes, clôtures, rideaux protecteurs ou buissons, mais aussi tout un programme de ramassage manuel ou mécanisé des ordures. Les bennes des camions devraient être couvertes pour que les papiers ne s'envolent pas, tant en cours de route que sur la décharge.

Si la surface de travail n'est pas trop grande et si les détritus sont correctement compactés et recouverts de terre à la fin de chaque journée de travail, le problème de la puanteur sera moindre. L'application d'un matériau sur les ordures contribue à atténuer les mauvaises odeurs dues à la décomposition des matières organiques ou les odeurs fortes dégagées par certaines ordures en particulier.

La méthode élémentaire de lutte contre les vecteurs de maladies consiste à compacter les ordures et à les couvrir immédiatement. Une couche bien compacte de 15 cm de terre appliquée sur les détritus à la fin de chaque journée de travail sera efficace car les mouches peuvent difficilement traverser une épaisseur de 15 cm de sol compacté, et les rats seront éliminés si la compaction et la couverture rendent plus difficile l'accès à la nourriture et détruisent leur habitat. Ces observations s'appliquent également à d'autres animaux (chats ou chiens errants, ours, etc.) qui pourraient être attirés par les ordures pour se nourrir. Le nombre de moustiques sera moindre si l'on élimine les flaques ou les mares d'eau stagnante. Les oiseaux restent un problème, parce qu'ils sont bruyants, malpropres, porteurs de germes et qu'il est difficile de les éloigner d'une décharge. Pourtant, il est particulièrement important de les décourager; pour ce faire, on peut essayer d'utiliser de petites surfaces de travail, une couverture quotidienne de terre, le bruit, les prédateurs, etc. Il est peu probable que les oiseaux resteront sur les décharges si elles sont effectivement et fréquemment recouvertes et, donc, moins accessibles.

Le souci de conserver un certain caractère esthétique se retrouve dans toutes les lois et directives provinciales. Par exemple, toutes les provinces prévoient l'établissement de zones tampons qui permettent le camouflage du site et sa séparation des terres utilisées à d'autres fins, ou assurent l'espace nécessaire au contrôle sur place des polluants. En Colombie-Britannique,

Photo 11. Les oiseaux qui se rassemblent sur les dépotoirs à ciel ouvert posent de graves problèmes de salubrité et d'esthétique et sont une source de dangers pour les avions. L'application quotidienne d'une couche de matériau de couverture dans les décharges contrôlées éloigne les oiseaux et constitue une grande amélioration dans le processus d'élimination des déchets.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

lorsque la situation le justifie, l'octroi d'un permis peut comporter l'obligation de construire une berme ou un écran entre la décharge et les terres adjacentes. En Ontario, le règlement exige une zone tampon tout autour de la décharge et stipule que le site doit être soustrait à la vue du public par un écran approprié. La Loi de la qualité de l'environnement du Québec prévoit le camouflage au moyen d'une clôture, une rangée de conifères, un talus, une configuration topographique ou tout autre genre d'écran naturel pour que le site ne soit pas visible d'une voie publique, d'un immeuble ou d'un parc ouvert au public. Ces écrans peuvent par la même occasion réduire les problèmes de bruit, de dispersion de papiers, de puanteur et de conflits entre les utilisations des terres.

Dans d'autres provinces, l'aspect esthétique est pris en considération au moment du choix de l'emplacement. Au Nouveau-Brunswick, on essaie résolument de situer les décharges contrôlées dans les régions les plus isolées. C'est peut-être pour cette raison que les autorités estiment que l'incidence visuelle est minime. Les décharges contrôlées n'ont pas fait l'objet de plaintes de la part des résidents; les préoccupations d'ordre écologique concernaient davantage la qualité des eaux souterraines que la pollution du sol ou l'enlaidissement du paysage. À Terre-Neuve aussi, un grand nombre de décharges contrôlées sont relativement à l'écart des zones habitées et, pour cette raison, les incidences de nature esthétique restent inconnues ou ne sont pas étudiées.

Les sites de l'Île-du-Prince-Édouard n'ont soulevé aucun grief sérieux si ce n'est, à l'occasion, au sujet de papiers éparpillés sur les champs environnant la décharge de St-Eleanor. À Charlottetown, la décharge de East Royalty qui se trouve à proximité d'habitations n'a fait l'objet d'aucune plainte. En Nouvelle-Écosse, des tentatives ont été faites pour situer les décharges à l'abri de la vue, autant que possible dans des secteurs boisés. De toute façon, le site sera masqué afin d'importuner le public le moins possible. Il est souhaitable de planter des conifères et des feuillus mélangés, autour d'une décharge. Le rideau d'arbres servira autant à cacher la décharge qu'à faire obstacle au vent et à éviter l'éparpillement des papiers. De plus, une bonne végétation a tendance à protéger une région contre l'érosion et contribue à abaisser la nappe phréatique grâce à la transpiration. Idéalement, il convient de planter une nouvelle végétation sur les décharges désaffectées pour contrôler l'érosion et satisfaire aux considérations esthétiques.

En résumé, bien que l'aspect esthétique ait été quelque peu négligé par le passé, il importe dorénavant d'en tenir compte à toutes les étapes, c'est-à-dire: choix de l'emplacement, conception, exploitation et remise en état. Étant donné que l'approbation d'une décharge contrôlée en général et de certains sites en particulier dépend pour une bonne part du consentement du public, il est évident que «le fait de rendre une décharge agréable à la vue est une oeuvre d'embellissement, sans rien de futile» (Reindl, 1977*b*).

Remise en état et utilisation finale

La remise en état et l'utilisation finale constituent l'une des étapes les plus importantes du cycle de vie d'une décharge contrôlée, et cela pour deux raisons. D'abord, le site subit un changement réel d'utilisation qui peut avoir des répercussions non seulement sur l'emplacement même mais aussi sur l'utilisation des terres adjacentes. En second lieu, la remise en état est une étape qui influe profondément sur la perception du public à l'égard de tout le processus de la décharge contrôlée.

Une fois désaffectée et réaménagée, la décharge contrôlée peut servir à une foule de choses: parcs, terrains de golf, pistes de randonnée pédestre, pentes de ski, terrains de baseball, pistes de luge, etc. Voilà des exemples concrets d'utilisations finales qui ont contribué à mieux faire accepter les décharges contrôlées par le public parce qu'il se rend compte de la hausse de la valeur sociale et financière du site. Dans la majorité des cas, le site devient un atout pour la collectivité parce qu'il forme un espace ouvert supplémentaire. C'est en raison des avantages offerts par la remise en état que «l'utilisation envisagée représente généralement un des points forts pour convaincre le public d'accepter la création d'une décharge contrôlée dans une région» (Mantell, 1975). L'amélioration apportée par le comblement de certaines terres basses peut aussi se révéler un avantage économique. Par exemple, «plusieurs villes ont transformé en terrains de jeu ou d'athlétisme et en parc des sites propices à l'éclosion des moustiques. D'autres ont utilisé d'anciennes décharges contrôlées pour prolonger des pistes d'atterrissage ou édifier des bâtiments industriels» (American Public Works Association, 1970). Un site bien restauré peut être une source d'avantages économiques et sociaux, tandis qu'un autre, mal réemployé entraînera de graves problèmes écologiques (Pavoni *et al.*, 1975).

Avant de procéder au réaménagement, il convient d'examiner toutes les caractéristiques physiques du site d'une décharge contrôlée. Celles-ci exerceront une influence sur la vitesse de tassement et la production de gaz qui, à leur tour, détermineront l'utilisation future du site. Des données sur les conditions climatiques et topographiques des lieux, la conception de la décharge, les caractéristiques et les sortes de matières déposées sont indispensables. Le temps nécessaire à la putréfaction totale des matières organiques d'une décharge varie en fonction de

Photo 12. Cette ancienne décharge réaménagée de la région métropolitaine de Toronto sert à l'heure actuelle à des fins récréatives.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

Photo 13. La dernière couche de couverture devrait être suffisamment épaisse pour la végétation, et devrait être nivelée pour empêcher la formation de mares d'eau. Les herbes et les buissons réduisent l'érosion du sol et améliorent l'aspect du site remis en état.
Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada

nombreux facteurs, dont les conditions climatiques. En outre, les nombreuses sortes de matières mises en décharge se décomposent ou s'oxydent toutes à des rythmes différents. Pendant la décomposition, la surface de la décharge commence à se tasser à un rythme variant selon les types de déchets. Néanmoins, le tassement est également déterminé par:

«... le volume de matériau de couverture utilisé par rapport au volume des ordures et à la densité obtenue par le compactage. Plus la quantité de matériau de couverture est grande et plus la densité obtenue est forte, moins le tassement devrait être important. Lorsqu'il y a tassement, la surface doit être remise en pente et nivelée pour que le drainage se fasse correctement et pour empêcher que des fissures se forment. Lorsque de larges fissures se produisent, les déchets sont exposés aux rats et aux mouches, l'eau s'infiltre et les gaz s'échappent. Le tassement présente aussi des risques pour les structures érigées sur les décharges, les canalisations et les structures dans le sol des décharges. Les risques de tassement doivent donc être pris en considération au moment de concevoir la construction d'une installation sur une décharge ou dans celle-ci» (Mantell, 1975).

«Les taux enregistrés de tassement des matériaux de comblement varient d'environ 2 à 40 %. On calcule approximativement que le tassement correspondra à au moins 20 % de la hauteur initiale de la décharge» (Hagerty *et al.*, 1973).

En plus du tassement, il faut aussi, au moment de planifier l'utilisation finale d'un site, tenir compte des teneurs en méthane et du degré de contamination par le percolat. L'accumulation de méthane risque de poser de graves problèmes de sécurité et de contraintes pour les bâtiments et les maisons construits sur une décharge désaffectée. En fait, la construction d'immeubles est rare et interdite la plupart du temps, sauf lorsque des dispositifs de contrôle particuliers ont été mis en place auparavant. Si des structures sont érigées sur d'anciennes décharges, «... tous les éléments de fondation comme les pilotis ou les piliers enfoncés dans les détritus doivent être conçus de manière à supporter les effets corrosifs des gaz et du percolat» (Hagerty *et al.*, 1973).

Au moment de planifier l'utilisation finale d'un site, il importe aussi de considérer le type de couverture végétale qui devrait être choisi. D'abord, la surface doit être protégée contre l'érosion par le vent et l'eau, puis le matériau de couverture devra être nivelé pour empêcher l'eau de s'accumuler et de pénétrer dans la décharge. Si la couverture n'est pas très épaisse, seules les plantes à racine courtes, les fleurs et les buissons pourront y pousser. L'accumulation de gaz dans la rhizosphère doit être envisagée, car elle risque de freiner la croissance ou même de tuer la végétation.

«Pour surmonter ces obstacles, il faut appliquer une couche suffisamment épaisse de terre humide et fertile et installer un système de mise à l'air libre des gaz. Le choix de la végétation de couverture dépendra du climat, du site, du matériau utilisé comme couverture finale et de la profondeur possible au-dessus de la dernière couche de détritus pour la formation des racines. Il faudra évidemment s'abstenir de planter sur une décharge désaffectée toute végétation qui demande à être irriguée.

Il convient de se rappeler ces considérations, quand une ancienne décharge doit être utilisée pour l'agriculture. Là encore, les gaz produits par les déchets en décomposition peuvent entraver la croissance des plantes dans le sol de couverture à moins que la mise à l'air libre de ces gaz n'ait été prévue» (Hagerty *et al.*, 1973).

L'épaisseur de matériau de couverture nécessaire pour réaménager un site à des fins agricoles varie de 0,6 à 3 m selon le type de sol, les cultures prévues et le climat de la région. Les emplacements d'anciennes décharges devant servir d'aires récréatives ne nécessitent généralement qu'une couche finale de terre de 0,6 m d'épaisseur.

La remise en état des anciennes décharges à des fins d'agriculture et de construction est pratiquée plus souvent aux États-Unis qu'au Canada. Dans ce dernier pays, les décharges sont principalement réaménagées en aires récréatives; rares sont les cas où elles servent à la construction.

Au Canada, lorsqu'une décharge est remplie à pleine capacité, la phase de remise en état se divise en deux temps. Premièrement, une couche finale de 0,6 m de matériau est compactée sur toute la surface; en second lieu, une couverture végétale est mise en place. Mais la façon de procéder varie d'une province à l'autre.

Par exemple, au Manitoba, le règlement 208/76 spécifie le processus de remise en état des décharges désaffectées en ces termes: «... une fois terminée la période d'exploitation d'une zone de plus de 0,4 ha (1 acre) ou au moment de la fermeture d'une décharge, une couche finale de terre compactée d'une épaisseur minimale de 0,6 m (2 pieds) doit être appliquée sur la surface de la zone active, et cette dernière doit être nivelée pour limiter la formation de mares d'eau stagnante.»

À l'Île-du-Prince-Édouard, le processus comprend une étape de plus, c'est-à-dire non seule-

ment l'application d'une couche de matériau de couverture de 0,5 à 0,6 m d'épaisseur, le nivellement, le terrassement et l'ensemencement ou la plantation d'herbes, mais aussi l'inclinaison définitive du terrain de l'ordre de 2:1 à 3:1.

Une fois que le site a été réensemencé, c'est généralement à la municipalité ou parfois à un particulier que revient la décision de laisser le site libre ou de l'utiliser à d'autres fins.

Au Canada, la décharge contrôlée désaffectée sert fréquemment à des fins récréatives, si ce n'est pas comme espace libre. Toutefois, l'Alberta et le Manitoba songent à utiliser d'anciennes décharges à des fins agricoles tout autant qu'à des fins récréatives.

En Alberta, la décision de l'utilisation finale est traitée dans le rapport d'étude technique rédigé avant la mise en exploitation du site. Le ministère de l'Environnement de cette province supervise le processus de remise en état pour s'assurer que le site est réaménagé conformément aux conditions stipulées dans le contrat avec l'exploitant. La majorité des décharges contrôlées de l'Alberta doivent être rendues à leur vocation initiale, bien qu'aucune n'ait encore atteint ce stade.

Aucune province n'a établi de règlement qui exige un genre déterminé d'utilisation finale, bien que quelques-unes interdisent certains usages. Normalement, l'Ontario ne prévoit pas de construction résidentielle ou d'autres types de développement sur les anciennes décharges contrôlées et ne les encourage pas non plus sur les terres avoisinantes. L'article 45 de la Loi sur la protection de l'environnement stipule qu'aucun emplacement ayant servi à l'élimination des déchets (c'est-à-dire la zone de décharge et les terres mises en réserve pour le contrôle des gaz et du percolat) ne peut être réemployé au cours des vingt-cinq années suivant sa désaffectation, à moins que l'utilisation envisagée n'ait été autorisée par le ministre. Les demandes d'approbation doivent passer par un bureau régional qui étudie les projets pour voir s'ils sont réalisables. Il est peu probable que le ministre donne son consentement à un projet, à moins que la municipalité ne soit prête à fournir les moyens de contrôle et les mesures correctives. Certaines utilisations de courte durée ou de peu d'importance, comme le pacage du bétail, les croisements de routes et l'installation de poteaux électriques (Ontario Ministère de l'Environnement, 1981*d*), peuvent être approuvées par le ministre, mais la plupart des sites ayant reçu cette autorisation avant l'expiration de la période de vingt-cinq ans ont été transformés en aires de loisirs.

En 1981, le ministère de l'Environnement de l'Ontario, conscient des risques que peuvent présenter les gaz dégagés par les déchets en décomposition d'une décharge, a établi des directives provisoires sur l'utilisation des décharges désaffectées ou des terrains avoisinants. Ces directives ont été rédigées pour aider les fonctionnaires régionaux du Ministère à prendre des décisions relatives à la réutilisation des sites et à la surveillance de l'aménagement des terres avoisinantes. Elles traitent du problème lié à la production du méthane, des moyens de remédier à ce problème, des dimensions de la zone tampon à établir pour empêcher la migration des gaz dans les environs, de l'occupation du sol de la décharge et de la nécessité d'installer des systèmes de détection et de contrôle du méthane. L'Ontario procède actuellement à une étude exhaustive sur la migration des gaz, qui servira de base à la rédaction des directives définitives.

Le Manitoba n'encourage aucune sorte de construction sur une ancienne décharge, à moins que des dispositions spéciales, comme les systèmes de détection et de mise à l'air libre des gaz, ne soient prévues. Il envisage même l'établissement d'une loi à cet effet. La ville de Winnipeg n'autorise aucune construction sur les décharges désaffectées.

En 1982, ni l'Île-du-Prince-Édouard ni la Nouvelle-Écosse n'avaient encore de décharge contrôlée désaffectée. Cependant, à l'Île-du-Prince-Édouard, les autorités étudient, dans le cadre d'une entente à sept parties réunissant les municipalités, le gouvernement provincial et les promoteurs privés, la possibilité de réemployer le site de Charlottetown. Étant donné que cette décharge sera remplie à pleine capacité en 1984, on s'attend à ce que la construction résidentielle prenne de l'expansion sur les terrains adjacents et que d'autres installations récréatives, comme une marina ou un club nautique, soient construites sur la côte. En 1982, des travaux d'aménagement ont débuté dans plusieurs régions. Un enrochement de béton, délimitant le côté nord de Wrights Creek, a été édifié le long du bord initial de la décharge. Le ministère des Forêts a mis sur pied un plan de gestion dans le cadre duquel les zones tampons existantes naturelles sont améliorées et où l'on en crée d'autres, ou l'on fait pousser différentes sortes de jeunes plants. La partie comblée de la décharge a été recouverte d'une couche supplémentaire de 0,6 m et ensemencée par hydrosemeurs. La surface plantée d'herbe couvre environ 8 ha et sera entretenue en vertu du contrat d'exploitation du site.

À Terre-Neuve, il existe une situation intéressante sur l'emplacement d'une ancienne décharge contrôlée, connue sous le nom de Wishingwell. Un important lotissement a été aménagé sur des parties du site et dans ses alentours; il comprend à l'heure actuelle un complexe sportif et un centre fédéral d'impôt. Les structures ont fait l'objet d'essais poussés et elles sont protégées contre le méthane par des systèmes de mise à l'air libre. Six ou sept sites de la province ont été réaménagés en complexes sportifs et en aires récréatives.

Photo 14. L'aménagement d'un terrain de golf est une excellente façon de réutiliser une ancienne décharge contrôlée.
Parcs Canada

En Ontario, les emplacements d'anciennes décharges contrôlées sont transformés en terrains de golf, en parcs, en cinémas de plein-air, ou même parfois laissés à l'état naturel, après avoir été couverts d'une dernière couche de terre et ensemencés. Ainsi, une décharge désaffectée de 8 ha et d'une profondeur d'environ 7 m, à Milton, est maintenant transformée en parc avec un terrain de baseball, un terrain de soccer et un centre de jeunes.

En 1968, la ville de Kitchener a conçu un parc et une aire récréative sur l'emplacement d'une décharge désaffectée, et elle a fait preuve d'imagination puisqu'il y a une pente de ski de 33,5 m de hauteur et d'une superficie de 16 ha, avec deux pistes de 244 m et une piste de toboggan. Le mont Blackstrap, une pente de ski qui a servi aux Jeux d'hiver de 1971 et située à 20 km de la ville de Saskatoon, est en partie une ancienne décharge. L'ancienne décharge de Régina est à l'heure actuelle un parc communautaire. Une décharge désaffectée au Nouveau-Brunswick a déjà été aménagée à des fins récréatives et comprend, entre autres, des courts de tennis et des terrains de soccer.

Sur la côte ouest, dans la ville de Vancouver, un dépotoir a été transformé en décharge contrôlée puis, après sa fermeture, il a été converti en terrain de loisirs. Recouvert d'une couche de couverture finale de 4,6 m, de beaucoup supérieure aux 60 cm réglementaires, le site a été aménagé et contient un terrain de jeu, des courts de ten-

nis, un arboretum et une pépinière, des aires récréatives, des pistes de randonnée pédestre et d'équitation et un golf à dix-huit trous. Six à sept cents maisons en copropriété se trouvent dans un rayon de 1,6 km de la décharge.

Seules quelques décharges contrôlées ont été consacrées à des fins industrielles, après leur fermeture. Une décharge contrôlée municipale (à l'emplacement d'une ancienne gravière), située près de Brandon au Manitoba, a été fermée en 1979. Les industries des environs l'utilisent actuellement pour y jeter des débris de matériaux de construction. En fait, ce sont ces décombres qui ont donné sa configuration finale au site comblé. Au Nouveau-Brunswick, une décharge privée a été aménagée dans un parc industriel. Plus tard, lorsque le site sera rempli à pleine capacité, il pourrait être réaménagé en parc de stationnement ou on pourrait y construire un bâtiment n'exigeant pas de fondation ou de sous-sol.

Les décharges éloignées des villes sont en général seulement recouvertes d'une couche de terre parfois réensemencée, et souvent il n'y a pas de demande de réutilisation immédiate. Par contre, comme dans les villes et les banlieues, où les terrains sont beaucoup plus en demande, le réaménagement d'une décharge contrôlée devient une nécessité pour des raisons écologiques, économiques, sociales et politiques. Un site bien réaménagé offre à la collectivité un vaste choix d'utilisations, ce qui constitue un avantage tant pour les résidents que pour les utilisateurs.

Le réaménagement d'anciennes décharges est avantageux non seulement pour le site même mais aussi pour les terres environnantes, et il leur donne une plus-value. Pour ces raisons, l'attitude du public à l'égard des décharges contrôlées évolue; la population ne les considère plus comme une dégradation permanente du paysage mais seulement comme une utilisation provisoire, avec la possibilité d'utiliser ultérieurement l'emplacement dans l'intérêt de la collectivité.

Une décharge contrôlée occupe un terrain de façon temporaire, mais les préoccupations d'ordre social et écologique liées à son exploitation sont réelles et il importe d'en tenir compte. Les questions relatives au percolat, à la production de méthane, au bruit, à la puanteur et autres nuisances doivent être examinées bien avant la mise en exploitation du site. Pour éviter ou atténuer ces problèmes, certaines mesures peuvent être prises au moment du choix de l'emplacement et aux stades de conception et de planification de la décharge. Ces considérations seront traitées dans les sections qui suivent.

FACTEURS À CONSIDÉRER LORS DU CHOIX DE L'EMPLACEMENT D'UNE DÉCHARGE CONTRÔLÉE

Il faut examiner un certain nombre de facteurs avant même d'envisager un emplacement pour une décharge contrôlée. Ces facteurs doivent tenir compte de l'environnement tant physique que social. Les caractéristiques topographiques, climatiques, hydrologiques, géologiques, ainsi que la nature des matériaux de couverture servent à déterminer si l'environnement physique convient pour une décharge contrôlée. Beaucoup de ces aspects physiques sont facilement quantifiables et peuvent être mesurés de façon objective. Par contre, l'attitude adoptée par le public, et ses réactions, sont beaucoup plus difficiles à quantifier.

Considérations physiques

Topographie

La topographie du terrain constitue l'un des facteurs les plus importants parce qu'elle influe sur les éléments suivants: méthode d'élimination des déchets; risque de pollution; coût pour minimiser les effets sur l'environnement; capacité de la décharge; besoins de drainage; accessibilité de la décharge; et utilisation finale de l'emplacement de la décharge. «Si nécessaire, une décharge contrôlée peut être aménagée dans presque n'importe quel type de terrain; cependant, bien que la technique de la décharge constitue un moyen d'élimination de déchets facilement adaptable, certains terrains conviennent mieux que d'autres au dépôt de déchets» (Pavoni *et al.*, 1975). Comme on l'a mentionné précédemment, les terrains plats avec une couverture de sol assez épaisse sont mieux indiqués pour la technique de la tranchée. Dans une zone au relief plus irrégulier, la technique de surface est plus appropriée. En terrain ondulé et accidenté, les techniques de surface et du talus conviennent toutes deux.

«Certains terrains présentent peu de risques de pollution, alors que d'autres peuvent exiger des soins et des dépenses considérables pour la préservation de l'environnement» (Goodings, 1974). Selon les caractéristiques topographiques, l'emplacement de la décharge peut être exposé aux inondations ou nécessiter des moyens supplémentaires de drainage. La topographie du lieu peut également influer sur le parcours du percolat. La contamination des eaux de surface, résultant soit des inondations, soit de la percolation des eaux dans le sous-sol, risque d'entraîner des dépenses élevées pour la décontamination. En règle générale, les plaines inondables ou d'autres dépressions qui permettent l'accumulation d'eaux de surface doivent être évitées aussi bien pour des raisons de contamination que de coût.

Parmi les terrains les plus favorables à l'aménagement d'une décharge, on peut citer les gorges, les ravins, et les mines à ciel ouvert, tous asséchés, ainsi que les plateaux (Fischer et Woodford, 1973*a*). Les pentes très abruptes sont généralement à éviter, car elles rendent difficiles l'exploitation de la décharge et son accès. Il ne faut utiliser des sablières ou des gravières abandonnées ou épuisées, ou d'autres carrières, qu'à la condition de connaître toutes les données environnementales relatives à l'emplacement. Pour l'aménagement de la décharge, il faut prendre les moyens appropriés pour le drainage en surface et sous terre, ainsi que les mesures de décontamination nécessaires. La technique de la décharge a été utilisée dans des zones de marécages et de marais, ainsi que dans des régions de waddens. La décharge ne devrait être envisagée dans des environnements de ce type que si les mesures suivantes sont prises: évaluation détaillée des conséquences pour l'environnement; élaboration d'un plan d'aménagement complet; gestion efficace de la décharge; suivi régulier des systèmes de surveillance et de contrôle.

Les caractéristiques topographiques déterminent aussi en partie la remise en état et l'utilisation finale de l'emplacement. L'aménagement paysager et le nivellement doivent être faits en fonction du relief environnant la décharge.

Climat

> *«Les conditions climatiques auront des effets importants sur l'exploitation de la décharge. Étant donné qu'il faut empêcher autant que possible le contact entre les eaux de surface et les déchets déversés, il est nécessaire d'évaluer le niveau, la fréquence, l'intensité et la durée des précipitations prévues dans la région où se trouve la décharge. De même, la vitesse et la direction des vents prédominants ne sont pas négligeables, du fait que les papiers et les déchets emportés par le vent peuvent être très gênants, dans le voisinage de la décharge. Les variations de température dans la région proposée jouent également, parce qu'il est difficile de faire des travaux d'excavation et autres quand le sol est gelé» (Pavoni et al.*, 1975).

L'intensité des odeurs, la quantité de poussières volantes, et l'érosion du sol sont elles aussi déterminées par les caractéristiques locales de la température, des vents, des précipitations et de l'évapo-transpiration. L'ensemble de ces caractéristiques combinées déterminera si la neige, la pluie ou la glace gêneront la circulation et les travaux à la décharge par temps particulièrement froid ou humide. «Les conditions climatiques peuvent obliger à éliminer certains emplacements, à préférer à d'autres des techniques d'exploitation inhabituelles, et même à exclure complètement l'utilisation de la

décharge comme méthode d'élimination des déchets dans des conditions extrêmes» (American Public Works Association, 1970).

Hydrologie

Une étude approfondie des emplacements possibles peut permettre d'éviter un grand nombre de problèmes de pollution des eaux de surface et souterraines. «... l'étude hydrologique (hydrogéologique) approfondie d'un emplacement suppose les démarches suivantes: réunion des données relatives au drainage de surface (niveaux des précipitations, taux d'infiltration et d'évapotranspiration, capacité de stockage), et de celles relatives aux caractéristiques et à la qualité des eaux souterraines (niveau de la nappe phréatique, direction et débit de l'écoulement des eaux souterraines, localisation des puits d'eaux souterraines, qualité de l'eau des nappes souterraines)» (Hagerty *et al.*, 1973).

Ce sont ces caractéristiques qui aideront à déterminer si la migration des contaminants, y compris le percolat, va poser un problème. Le choix, le plan d'aménagement et l'exploitation d'un emplacement doivent être envisagés avec, comme objectifs, la minimisation de l'infiltration des eaux de surface dans la décharge, l'élimination des risques de drainage de la décharge par des eaux provenant d'ailleurs, un nivellement approprié en surface, l'utilisation de la couverture de sol appropriée, et la mise en oeuvre des moyens nécessaires pour le drainage en surface. Il est également essentiel d'éviter ou de limiter au minimum le contact entre les eaux souterraines et les déchets déposés. Si ce contact ne peut être évité, il faut soit se limiter à certains types de déchets, soit protéger les eaux souterraines des liquides contaminés provenant de la décharge. Cela peut être accompli en élevant les déchets au-dessus du niveau de la nappe phréatique si les sols intermédiaires peuvent contenir des eaux d'infiltration, ou encore par la mise en place d'une barrière imperméable, comme un revêtement en argile ou en matière plastique entre les matériaux de la décharge et l'eau souterraine.

Matériaux de couverture

Étant donné que les matériaux de couverture sont nécessaires à divers égards dans l'exploitation d'une décharge, ils constituent eux aussi un important facteur dans le choix de son emplacement. La couverture de sol peut modifier le taux d'infiltration de l'eau dans les déchets en décomposition, prévenir l'apparition de vecteurs comme les rats et les mouches, influer sur le déplacement des gaz et des odeurs, réduire la quantité de papiers et autres résidus risquant d'être emportés par le vent, atténuer les risques d'incendie, et constituer un support approprié pour la couverture végétale lors du réaménagement du site. Pour satisfaire à toutes ces conditions, il faut disposer d'une quantité importante de sol. L'exploitation normale d'une décharge suppose l'utilisation quotidienne de matériaux de couverture, composés d'environ 1 partie de sol et de 4 parties de déchets tassés.

Lorsqu'on considère les caractéristiques du sol, la qualité est au moins aussi importante que la quantité, sinon plus. Chaque type de décharge peut nécessiter un sol aux caractéristiques différentes. Le gravier constitue un obstacle pour des vecteurs de grande taille comme les rats, mais il laisse passer des éléments plus petits, comme les mouches, ou encore il est perméable aux gaz. Une fois saturés, les matériaux à particules fines, comme les limons et les argiles, sont peu perméables aux gaz, à l'eau, et à divers vecteurs, mais par temps chaud et sec, il se forme de grandes fissures qui facilitent les déplacements. À l'état humide ou gelé, l'argile est difficile à travailler, et elle constitue une surface très médiocre pour la circulation des camions. De plus, l'argile n'est pas un milieu très favorable pour la revégétation. Le sable pur est très perméable, il est sujet à l'érosion par le vent et peu indiqué pour la croissance végétale.

Lorsqu'on considère l'ensemble des besoins, le sol idéal serait donc un limon sableux. Les particules les plus grosses assurent la solidité, alors que les particules plus fines empêchent le déplacement des gaz, de l'eau et des vecteurs. Cette combinaison constitue également une bonne surface de travail, un matériau facile à manier, une bonne base pour la revégétation, un moyen d'éliminer l'éparpillement des déchets et de limiter le déplacement de l'eau et des gaz (Hagerty *et al.*, 1973; American Public Works Association, 1970; Pavoni *et al.*, 1975).

La présence de ce type de matériau de couverture, soit à l'emplacement même de la décharge, soit à une courte distance de transport, rendra beaucoup plus aisée l'exploitation de la décharge et améliorera sa viabilité économique. Lorsqu'il y a présence de matériaux de couverture à l'emplacement même de la décharge, on peut les extraire et avoir en même temps de l'espace supplémentaire pour les déchets. Cependant, dans certaines régions du Canada, il arrive que le sol disponible à l'emplacement même ou à une distance de transport raisonnable n'ait pas, et de loin, une valeur «idéale». Dans ces cas, des changements dans les conditions d'exploitation et le type d'utilisation finale de l'emplacement peuvent généralement répondre à toute carence.

Géologie

«La situation géologique globale du lieu de la décharge est très importante pour son exploitation. La présence d'une épaisse couche de sol de couverture approprié, reposant sur une assise rocheuse profonde, constitue une situation idéale pour l'exploitation d'une décharge contrôlée. Les caractéristiques de l'assise rocheuse sont également importantes du fait que certains types de roches sont plus perméables que d'autres, et qu'elles contiennent donc de grandes quantités d'eau souterraine s'écoulant rapidement, d'où des risques très élevés de pollution de l'eau. D'autres types de roches (comme les schistes) sont peu perméables, et l'eau souterraine ne se déplace que lentement et en faibles quantités à travers ces matériaux. De plus, la nature de l'assise rocheuse sous-jacente est importante du fait que certains types de roches sont plus sensibles à l'action chimique et, par conséquent, vulnérables à l'attaque des eaux percolant à travers une décharge contrôlée. Enfin, des phénomènes géologiques comme les failles actives, les glissements ou les affaissements de terrains, auront évidemment un effet néfaste sur toute décharge contrôlée» (Pavoni *et al.*, 1975).

Les emplacements constitués d'épaisses couches de matériaux relativement imperméables, comme les alluvions glaciaires, les limons lacustres et les argiles, les sols résiduels d'altération, et les limons entraînés par le vent (loess) sont en général une protection naturelle plus efficace pour les eaux souterraines que les formations plus perméables de sable ou de gravier (Fischer et Woodford, 1973*a*). Les emplacements constitués de matériaux poreux ou fracturés, comme le grès ou le calcaire, n'empêcheront pas le déplacement des eaux souterraines, ni du percolat.

Besoins du terrain

Les propriétés physiques ne constituent pas les seuls critères pour le choix d'un emplacement de décharge contrôlée. Il existe d'autres critères concernant les besoins du terrain pour la décharge comme la situation et l'accessibilité de l'emplacement, l'existence de terrains disponibles, ainsi que la compatibilité entre l'exploitation d'une décharge contrôlée, les autres utilisations des terrains, et les divers écosystèmes. Le critère foncier est fonction d'un certain nombre de facteurs, comme les suivants: caractéristiques sociales et démographiques; conditions économiques; quantités et caractéristiques des déchets; durée de vie prévue pour la décharge; degré de compactage des déchets; configuration de l'emplacement; et technique de déversement des déchets choisis.

Situation géographique et accessibilité. Il est conseillé de choisir pour la décharge un lieu aussi proche que possible de l'endroit où les déchets sont générés. Cela permettra de minimiser la distance de transport et, par conséquent, les frais (Pavoni *et al.*, 1975). On estime que par le passé, 80 % des dépenses totales pour la gestion des déchets solides étaient consacrées

au ramassage et au transport, et non à l'élimination proprement dite. Il y a une forte concurrence de la part d'autres utilisateurs urbains pour les emplacements avantageux du point de vue coût, et leur prix est donc très élevé. Le coût actuel de l'énergie oblige tous les utilisateurs, y compris les exploitants des décharges, à trouver des emplacements peu éloignés des centres.

L'accessibilité représente un facteur critique. Que les décharges soient situées près de centres urbains ou dans des zones rurales, il faut minimiser aussi bien la distance que le temps de transport, en choisissant des emplacements proches des grandes routes. Ces routes doivent convenir aux poids lourds de toutes capacités et charges, par tous les temps. L'utilisation de voies d'accès qui passent à l'écart des zones d'habitation et des secteurs commerciaux permettra de réduire le nombre de plaintes au sujet du bruit, de la poussière et de la congestion de la circulation.

Terrains disponibles et compatibilité avec d'autres utilisations des terres. À mesure que les terrains dans les zones urbaines et les banlieues deviennent de plus en plus rares et coûteux, il faut envisager des emplacements plus éloignés des sources de déchets. Pour des raisons évidentes, il est difficile d'obtenir un terrain dans une zone résidentielle ou dans des secteurs à vocation résidentielle réglementée par zonage. Les terrains à vocation industrielle et certaines zones commerciales peuvent plus facilement être acceptés comme emplacement pour une décharge. Un terrain à l'intérieur de l'agglomération, en train d'être aménagé, zoné à des fins industrielles, mais non encore entouré de développements existants, peut constituer un choix idéal du point de vue logistique.

Les zones suburbaines de centres métropolitains peuvent offrir plus de possibilités pour le choix d'un emplacement de décharge, mais il y a un risque considérable d'opposition de la part du public. «... les habitants des zones suburbaines sont généralement très réticents et s'opposent souvent de façon très énergique à toute tentative d'aménagement de décharge contrôlée pour l'élimination des déchets urbains dans leur secteur» (Hagerty *et al.*, 1973).

Si elles ne sont pas trop éloignées, les zones rurales voisines des centres urbains constituent également des emplacements possibles pour une décharge. L'opposition des autres utilisateurs des terres sera moins forte en raison du faible nombre d'habitants et de la densité de population moindre. Bien que certaines zones rurales ne soient pas très sensibles aux effets de l'exploitation d'une décharge, les activités agricoles et récréatives peuvent être exposées aux risques entraînés par une décharge mal située et (ou) mal entretenue. Les membres des communautés rurales s'opposent de plus en plus à la présence chez eux de décharges pour les déchets urbains. De plus, le coût du transport peut écarter le choix d'un emplacement rural, même si les autres conditions paraissent acceptables.

Photo 15. Pour tout terrain disponible, il y a une forte concurrence entre l'installation d'une décharge contrôlée et d'autres utilisations, l'aménagement d'habitations ou d'entreprises commerciales, le transport, etc. De plus, nombreux sont les utilisateurs de terrains urbains qui considèrent les décharges comme «des voisines indésirables». NFB–PHOTOTHÈQUE–ONF

L'emplacement d'une décharge peut aussi être soumis à des restrictions particulières, comparativement à d'autres utilisations des terres.

> *«Les plans d'utilisation des terres et les objectifs de planification doivent être établis par les organismes locaux et régionaux appropriés; il est évident que ces derniers doivent être consultés avant le choix d'un emplacement. Par exemple, un plan directeur local ou régional peut exclure un emplacement, par ailleurs tout à fait convenable. Le zonage actuel et futur des aires voisines doit être pris en considération pour le choix d'un emplacement de décharge et pour l'utilisation finale de cet emplacement. Par exemple, la proximité actuelle ou future d'un aéroport est un point à considérer du fait que la décharge attire les oiseaux, et que ceux-ci représentent un risque grave pour les avions volant à basse altitude»* (Stone, 1977).

Transports Canada (1981) propose que les emplacements de décharges contrôlées ou d'autres installations d'élimination de déchets, ne soient pas situés à moins de 8 km du centre d'un aéroport.

> *«Un autre point important du point de vue environnemental lors du choix de l'emplacement d'une décharge: éviter les zones où la présence de la décharge perturberait un écosystème fragile ou d'autres ressources de grande valeur, comme l'habitat d'espèces végétales ou animales en danger, les secteurs boisés vierges, les régions sauvages, les aires de nidification, les voies de passage d'animaux sauvages, les sites géologiques, historiques ou archéologiques uniques. L'aménagement d'une décharge dans une zone de ce type peut avoir des effets néfastes, qui globalement éliminent tous les avantages d'une décharge bien gérée. Les décisions relatives à ces zones sont généralement très subjectives et font l'objet de nombreuses controverses. Lorsque c'est possible, il faudrait éviter de choisir une zone de ce type comme choix d'un possible emplacement de décharge»* (Reindl, 1981*e*).

Le choix d'un emplacement de décharge doit tenir compte de tous les effets possibles sur l'environnement naturel. Le public canadien a fort bien compris la nécessité de préserver la qualité et la diversité de son écologie.

Avec toutes les contraintes mentionnées ci-dessus, il n'est pas surprenant de voir que «le problème le plus important lié à l'élimination des déchets solides dans les décharges contrôlées est la rareté croissante d'emplacements pouvant convenir à ce type d'activités» (Pavoni *et al.*, 1975).

Étapes conduisant à l'aménagement d'une décharge contrôlée

Facteurs à considérer

Avant d'entreprendre l'opération, longue et difficile, qui consiste à choisir un emplacement pour une nouvelle décharge, plusieurs facteurs doivent être considérés. Premièrement, le besoin d'une nouvelle décharge dans un avenir immédiat ou rapproché doit être entièrement justifié. Deuxièmement, la région desservie par la nouvelle décharge doit être bien délimitée. Troisièmement, la quantité et le type de déchets, ainsi que leurs sources, doivent être parfaitement connus, et même faire l'objet d'un inventaire. La durée de vie et la capacité prévues pour la décharge peuvent être évaluées d'après la taille de la population actuelle ou prévue, visée, ainsi que la quantité et le type de déchets à éliminer. Enfin, il faut examiner l'utilisation ultime de l'emplacement et son rôle par rapport aux autres utilisations des terres, dans le cadre d'une planification à long terme.

1) Choix de l'emplacement

En raison de la complexité des critères du choix d'un emplacement de décharge contrôlée, on n'insistera jamais assez sur l'importance et la signification à long terme du processus de sélection. Celui-ci comprend trois étapes principales: recherche des emplacements possibles, leur évaluation, et le choix ultime (Reindl, 1981*e*).

Certains des principaux facteurs pour la caractérisation des emplacements possibles et pour le choix final sont donnés ci-dessous:

Principaux facteurs à considérer lors de la recherche d'un emplacement pour une décharge:

1. Physiques
   - caractéristiques topographiques
   - qualité, quantité, et type de sol
   - profondeur de la nappe phréatique
   - caractéristiques géologiques
   - climat et microclimat
2. Services
   - accès par la route
   - distance des égouts, des sources d'approvisionnement en eau, etc.
   - électricité
3. Administratifs et juridiques
   - droit de propriété
   - zonage actuel ou prévu
   - contraintes particulières à l'emplacement
   - directives municipales, provinciales
   - règlements municipaux, provinciaux
   - autorisations municipales, provinciales
4. Sociaux
   - perception et réactions du public
   - réactions des milieux politiques
5. Économiques
   - coûts d'acquisition du terrain
   - coûts de préparation de l'emplacement
   - coûts d'exploitation de la décharge
   - coûts du ramassage et du transport
   - coûts de la remise en état et de l'entretien à long terme de l'emplacement
   - valeur de l'utilisation ultime du terrain
6. Terrains
   - recherche d'un terrain satisfaisant quant à la qualité et à la quantité
   - autres utilisations de l'emplacement visé et de la zone voisine
   - effets possibles sur l'utilisation, la valeur et la qualité du terrain
   - risque de conflits avec d'autres utilisateurs des terrains
   - utilisation ultime de l'emplacement de la décharge

Le processus de sélection de l'emplacement final, généralement parmi plusieurs lieux acceptables, est conduit différemment d'une province et d'un organisme concerné à l'autre (Sexsmith *et al.*, 1974). Le choix final peut faire appel à diverses méthodes d'évaluation. Un classement numérique ou une pondération de chaque critère permettra d'aboutir à une évaluation finale. Une autre méthode consiste à dresser une liste et à évaluer les avantages et les inconvénients des emplacements possibles. Quelle que soit la méthode, une proposition finale est faite en vue de la préparation des plans d'aménagement.

2) Conception et plan d'aménagement

«Souvent l'emplacement choisi pour l'aménagement d'une décharge contrôlée a des caractéristiques qui sont loin d'être idéales. Dans la conception d'une décharge, on fait appel à diverses techniques d'ingénierie pour surmonter les difficultés inhérentes à l'emplacement, et pour satisfaire à certains critères ou objectifs. En fait, la sélection d'un emplacement va de pair avec la conception et le plan d'aménagement.

Le plan d'aménagement commence dès qu'on entame le processus de sélection de l'emplacement. Chaque lieu examiné possède différentes caractéristiques, qui supposent un plan d'aménagement particulier pour chaque décharge. La technique de surface peut très bien convenir à un emplacement, alors qu'un autre sera plus efficacement exploité par la méthode de la tranchée. Certains emplacements peuvent s'opposer naturellement à la percolation, alors que d'autres nécessiteront une couche d'argile ou une couverture artificielle, utilisées conjointement avec des dispositifs permettant de recueillir le percolat. La facilité d'aménagement d'une décharge constitue l'un des facteurs du choix d'un emplacement, du fait que cette facilité d'aménagement déterminera en partie les coûts et les techniques d'exploitation» (Reindl, 1981*f*).

Reindl a décrit les cinq étapes qui constituent la phase de la conception: définition des buts et des objectifs; caractérisation des données de base pour le plan d'aménagement; autres plans d'aménagement possibles; évaluation de ces plans et choix de la meilleure solution; description détaillée et calculs théoriques.

3) Autorisation

Les règlements régissant l'élimination des déchets varient d'une province à l'autre, mais toutes les conventions ou lois exigent que les plans d'une décharge contrôlée soient examinés par l'organisme compétent et reçoivent son approbation avant le début des travaux. Une demande d'autorisation est soumise par le candidat-exploitant d'une décharge contrôlée, et il peut s'agir d'un particulier, d'une municipalité, ou encore d'un organisme du gouvernement provincial. Lors de l'examen de la demande, le plan est évalué selon les directives ou les règlements provinciaux, qui précisent souvent comment la demande d'autorisation doit être présentée ainsi que la nature des renseignements devant accompagner les plans. La plupart des provinces ont un système de permis ou d'autorisation, avec émission d'un document officiel par l'organisme responsable. Les conditions rattachées au permis, bien que décrites en termes très généraux dans les règlements ou les directives, peuvent néanmoins avoir un lien étroit avec les conditions particulières à chaque emplacement, et elles sont souvent négociées et acceptées par toutes les parties. L'organisme responsable peut exiger unilatéralement que les conditions soient conformes à certaines normes relatives à l'emplacement et à l'exploitation de la décharge contrôlée.

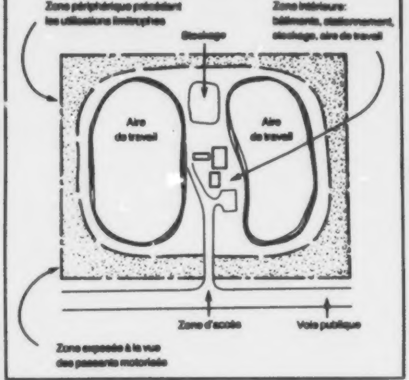
Alors que ce sont des architectes, des ingénieurs et autres experts qui s'occupent du choix de l'emplacement ainsi que de la conception et des plans d'aménagement de la décharge, l'autorisation finale pour aménager une décharge fait généralement intervenir un grand nombre de décisionnaires qui ne sont pas des techniciens. En plus des procédures administratives normales liées, dans chaque province, à l'obtention d'un permis, il faut compter avec les milieux politiques, le public et des groupes de pression qui ont souvent une voix prépondérante quand vient le temps de décider de l'ouverture d'une décharge contrôlée. Dans la plupart des provinces, le ministre responsable a prépondérance sur n'importe quel organisme, commission ou autre décisionnaire officiel; il peut autoriser ou refuser l'aménagement d'un emplacement particulier. L'opposition du public peut, elle aussi, être assez forte pour obliger à renoncer à un emplacement qui avait été accepté officiellement. Il est d'ailleurs déjà arrivé maintes fois qu'un emplacement ait été rejeté en raison de l'opposition du public, en faveur d'un autre lieu, moins indiqué du point de vue environnemental, mais plus acceptable pour des raisons politiques.

4) Préparation de l'emplacement

À l'aide des plans d'aménagement détaillés et approuvés, l'emplacement doit être préparé de façon à permettre une exploitation efficace. La préparation comprend: le déblaiement et le nivellement préalable de l'emplacement; la construction de routes reliant les voies publiques à la décharge; la construction d'un bâtiment permanent ou, plus généralement, la fourniture d'abris temporaires; la pose des clôtures et l'aménagement de bermes; le raccordement aux services publics; l'excavation de fossés de drainage ou l'ajout de ponceaux; l'installation de panneaux de signalisation; l'aménagement d'un terrain de stationnement; la mise en place des balances (Mantell, 1975).

À quoi ressemble un emplacement qui est maintenant prêt pour l'exploitation? La figure 6 représente schématiquement une décharge contrôlée type.

FIGURE 6.
Plan d'une décharge contrôlée



Adaptée avec la permission de:
Solid Wastes Management Journal, 1977.

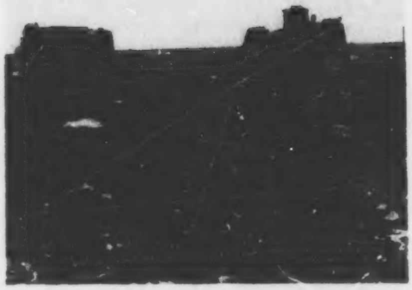


Photo 16. Cette photo illustre des activités types dans l'aire de travail d'une décharge contrôlée à Ottawa (Ontario).
Direction générale des terres, Environnement Canada

Résumé

L'élimination des déchets constitue un processus complexe. Tout commence par la constatation d'un besoin de décharge, se continue par l'évaluation des techniques et des emplacements possibles, se poursuit par la phase de sélection suivie de l'aménagement et de l'exploitation de la décharge, et se termine par le réaménagement de l'emplacement pour qu'il serve à d'autres fins.

Beaucoup de communautés canadiennes éprouvent des difficultés dans la gestion des déchets, et particulièrement lorsqu'il s'agit de les éliminer. Elles sont confrontées à la question suivante: «Où va-t-on les mettre?». Pour répondre partiellement à cette question, on peut examiner les facteurs techniques, environnementaux, économiques et juridiques. Cependant, les décisions ne peuvent être fondées uniquement sur des facteurs objectifs; les influences politiques et sociales jouent souvent un rôle important.

Il existe beaucoup de voies différentes pour y parvenir. Trois études de cas, portant sur trois régions différentes, ont été choisies, non seulement pour illustrer les diverses façons dont on peut aborder la question, mais également pour mettre en lumière différents aspects du problème d'élimination des déchets. La ville de Winnipeg montre comment un esprit innovateur peut résoudre à la fois la question de l'élimination des déchets et la mise en place d'installations récréatives. Dans l'étude du cas de Keele Valley, on passe en revue les procédures administratives nécessaires pour obtenir l'autorisation d'aménager une grande décharge contrôlée au nord de Toronto. L'étude du cas de la route 101 (Highway 101) met en lumière les efforts de Halifax-Dartmouth pour trouver un emplacement acceptable permettant de se débarrasser des déchets urbains. Une section intitulée «Élimination des déchets dans le Nord du Canada» conclut en décrivant les méthodes spéciales d'élimination des déchets, utilisées dans le nord du Canada.

ÉTUDES DE CAS

Parc Kil-Cona de Winnipeg: une conception originale

«La nécessité d'un nouvel emplacement pour l'élimination des déchets solides dans la partie nord-est de la ville de Winnipeg, et la volonté d'aménager un parc régional d'importance majeure dans la même zone, offrirent l'occasion de planifier un projet alliant décharge contrôlée et parc. Par accord mutuel, la Parks & Protection Division et la Waterworks, Waste & Disposal Division de la ville de Winnipeg entreprirent ensemble la conception et l'aménagement de cet ensemble combiné» (Ville de Winnipeg, 1975).

Le plan du parc du nord-est de la ville de Winnipeg constitue un exemple intéressant de prévoyance, de coopération et de conception innovatrice pour un projet original visant à l'aménagement combiné d'une décharge contrôlée et d'installations récréatives. Le dialogue qui suit met en lumière les principales caractéristiques du plan.

Q Brièvement, quels sont les éléments faisant partie du plan du parc de Kil-Cona?

R Le plan comprend:

1) l'achat d'environ 180 ha de terres, dans la [illegible]

2) l'aménagement d'une décharge contrôlée, d'une durée de vie de 12 ans, pour éliminer environ 3,2 millions de tonnes de déchets.

3) l'aménagement, après la mise hors de service de la décharge, d'un parc régional pour la pratique de sports actifs et la détente à l'année longue.

Q Quels étaient les objectifs de ce plan?

R Les objectifs du plan consistaient à combiner une technique d'élimination efficace et peu coûteuse des déchets, avec une planification à long terme, et l'aménagement d'un parc, tout en faisant participer le public à toutes les étapes de ce plan.

Q En quoi cette approche est-elle originale?

R Voici quelques caractéristiques de ce plan:

1) participation active du public à toutes les phases du plan;

2) aménagement d'une décharge contrôlée au voisinage d'une zone résidentielle existante;

3) incorporation d'un système lacustre étendu au complexe récréatif.

Q Quel est l'environnement physique?

R L'emplacement, d'une superficie de 180 ha est situé dans le quart nord-est de la ville de Winnipeg. Il est limité par deux rues résidentielles et deux routes régionales. La section de la décharge [illegible]

[illegible] est entourée d'une zone tampon de 300 m, plantée d'arbres et de buissons pour former écran.

Q Comment est née cette idée?

R Le besoin urgent d'un nouvel emplacement pour une décharge contrôlée dans le quart nord-est de la ville, et le projet d'aménagement d'un parc régional d'importance majeure dans le même secteur, ont fourni l'occasion d'un projet original combinant une décharge contrôlée et un parc. Par accord mutuel, le Parks & Protection Department et le Waterworks, Waste & Disposal Department (WWDD) de la ville de Winnipeg ont entrepris ensemble la conception de cet aménagement.

(Après la fusion d'environ 13 villes et municipalités en 1971, le Parks & Recreation Department (PRD) devint le seul organisme responsable de tous les parcs et activités récréatives de la ville de Winnipeg. En 1971, la [illegible] 560 000 personnes. En 1981, [illegible] de cette [illegible] 565 000. Lors de [illegible] WWDD [illegible]

[illegible] la [illegible] des [illegible] [illegible] se [illegible] engagés [illegible] et la réalisation du [illegible]

R [illegible] la construction de la nouvelle ville de [illegible] en 1972, on examina la possibilité d'éliminer les déchets solides pour l'ensemble de la ville. Il se révéla que les décharges étaient devenues insuffisantes pour les besoins existants et ne répondaient pas aux normes environnementales. Les petites décharges furent donc éliminées, et la ville se limita à l'exploitation de trois décharges. Après l'examen d'autres possibilités d'élimination, les contraintes économiques [illegible] la poursuite de la méthode d'élimination par décharge contrôlée. Étant donné que le secteur est de la ville n'était pas pourvu d'une capacité suffisante d'élimination par décharge, des études furent entreprises pour localiser un emplacement pouvant répondre au besoin. Les éléments-clés de l'étude étaient les suivants:

- obtenir l'accord du public en ce qui concerne les questions d'emplacement, d'apparence, d'hygiène et de circulation routière;
- éviter d'avoir à relocaliser ou perturber au minimum les installations existantes;
- prévenir la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines;
- endommager le moins possible l'environnement;
- trouver un terrain d'une superficie suffisante;
- minimiser les problèmes d'ingénierie et d'exploitation;
- trouver un emplacement compatible avec l'utilisation future du terrain;
- rendre l'opération financièrement acceptable.

À la même époque, le [illegible] commençait à [illegible] des terres pour l'aménagement d'un parc régional dans ce quadrant. Les [illegible]

[illegible]

[illegible] par expropriation. Le dédommagement fut fixé par évaluation foncière (plus 10 %). Une fois le terrain acquis, il y eut une audience publique. Celle-ci, annoncée dans les journaux de l'endroit, comportait un questionnaire en 16 points qui visait à recueillir l'opinion de tous les citoyens concernés par ce projet combinant une décharge contrôlée et un parc. L'audience eut lieu devant la Clean Environment Commission du gouvernement du Manitoba et, une fois tous les témoignages recueillis, cette commission émit une ordonnance pour réglementer la mise en œuvre du plan. De nombreuses autres audiences publiques eurent lieu pour informer les citoyens et entendre leurs plaintes. En 1982, le processus était déjà en marche depuis cinq ans, et des réunions publiques se tenaient toujours, à raison d'au moins une par année.

À mesure que progressaient les travaux dans la décharge contrôlée, on commençait à aménager le parc, en commençant par la zone tampon. On entreprit immédiatement aussi l'aménagement d'un parcours de golf de neuf trous à par trois. À la même époque fut creusé un lac artificiel de 12 ha, première étape d'un ensemble appelé «Village de pêche». Des terrains de jeux, des courts de tennis, des terrains pour le jeu de quilles sur gazon, et des terrains pour d'autres sports sont actuellement sous aménagement. Suivra l'aménagement de pistes de randonnée, de pentes pour le ski et le toboggan, de terrains de jeux pour les enfants, d'installations pour le canotage et les pédalos, et d'un environnement aquatique favorable à la vie des oiseaux aquatiques de l'endroit. Le produit final sera un parc récréatif régional complet, ouvert toute l'année, situé à côté d'un district résidentiel harmonieusement conçu.

Q Quelles objections ont été soulevées, et quelles mesures ont été prises pour y répondre de façon satisfaisante?

R Les objections soulevées par les habitants de l'endroit et d'autres personnes préoccupées par les problèmes environnementaux étaient les suivantes:

- odeurs produites par les divers types de déchets;
- poussières, [illegible], déchets [illegible] et autres [illegible];
- [illegible] produit par le [illegible] des déchets.

[illegible]

[illegible] aux normes. Il fallut de grands efforts de persuasion pour changer cette manière de voir.

Pour répondre aux objections, de nombreuses réunions furent tenues avec les parties intéressées, avec projection de films et présentation de rapports sur des décharges contrôlées exploitées selon les normes. De plus, on tâchait de donner tous les renseignements nécessaires pour calmer les esprits.

Q À quoi étaient consacrées les terres, auparavant?

R Avant le projet d'aménagement, la majeure partie du terrain était inexploitée. Les limites au nord et à l'est de l'emplacement étaient occupées par des zones résidentielles en bandes. Le centre de l'emplacement était affermé, principalement pour la culture des céréales. La limite méridionale se trouvait bordée de maisons plus anciennes. La limite occidentale abritait un village de maisons mobiles et un terrain d'exercices pour le golf. La majeure partie du terrain était touchée par le zonage agricole, et le reste par le zonage résidentiel et industriel.

Avec le plan d'aménagement, toutes les propriétés privées furent achetées, y compris neuf maisons. On ignore à quel endroit furent relocalisés les propriétaires de ces maisons. Toutes les maisons mobiles furent achetées et vendues à l'encan. Le propriétaire du village fut pleinement dédommagé.

Q Comment sont utilisées les terres entourant l'emplacement de la décharge?

R La majeure partie des terres avoisinantes appartiennent à des particuliers. Les terres situées au sud sont à vocation principalement agricole, avec surtout la culture des céréales; juste au sud de la limite méridionale de l'emplacement de la décharge, il y a un secteur industriel (fabrication de meubles, cimetière de voitures). La plus grande partie de la zone située à l'est et au nord de l'emplacement est constituée par des terres agricoles. On trouve aussi au nord et à l'est des terrains de zonage résidentiel, ainsi que des lotissements en bandes. Depuis le plan d'aménagement, les installations industrielles au sud ont été améliorées, et des lotissements ont apparu au nord et à l'ouest. [illegible]

Q L'aménagement du parc Kil-Cona a-t-il eu [illegible] sur la valeur des terres?

R [illegible]

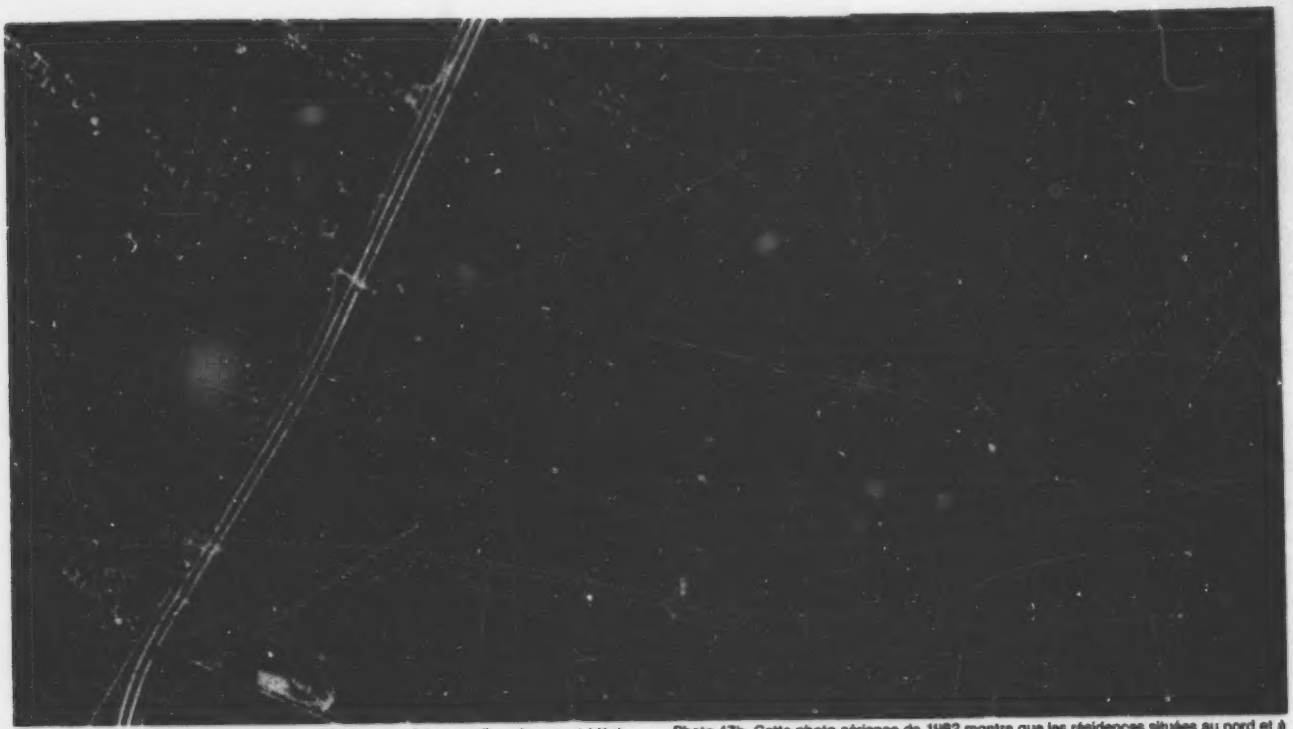
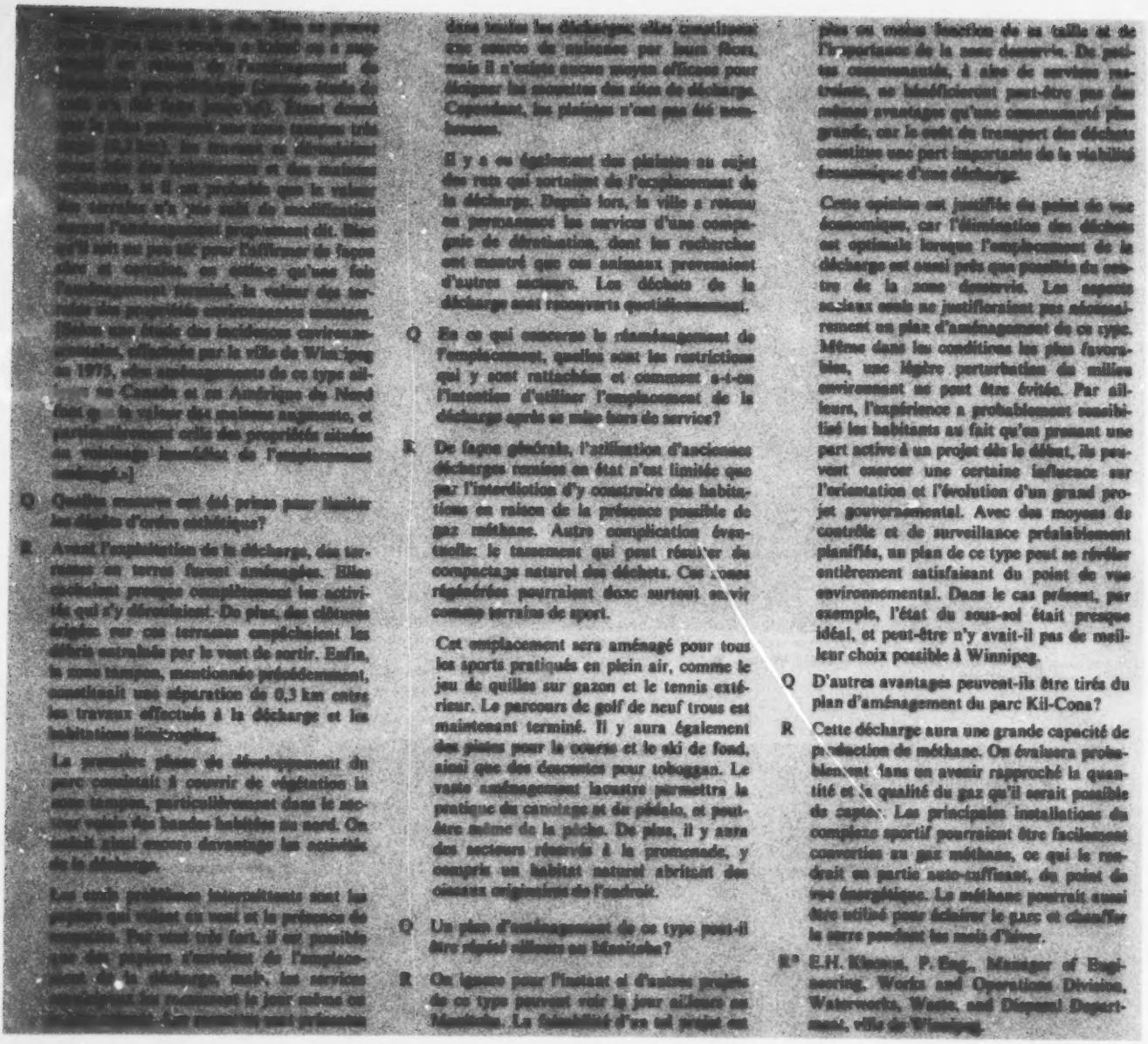


Photo 17a. Cette photo aérienne prise en 1974 montre clairement l'emplacement idéal pour la décharge de Kil-Cona – projet de parc régional à Winnipeg. ▲
Northway Survey Corporation Limited

Photo 17b. Cette photo aérienne de 1982 montre que les résidences situées au nord et à l'est sont protégées de la décharge par un terrain de golf à neuf trous et une pépinière. Le remplissage de la décharge contrôlée et l'aménagement du parc se font simultanément. Au sud, l'industrie s'est améliorée et à l'ouest, le développement résidentiel a pris passablement d'importance. ▼
Northway Survey Corporation Limited



dans toutes les décharges; elles constituent une source de nuisance par leurs fleurs, mais il n'existe aucun moyen efficace pour éloigner les mouettes des sites de décharge. Cependant, les plaintes n'ont pas été nombreuses.

Il y a eu également des plaintes au sujet des rats qui sortaient de l'emplacement de la décharge. Depuis lors, la ville a retenu en permanence les services d'une compagnie de dératisation, dont les recherches ont montré que ces animaux provenaient d'autres secteurs. Les déchets de la décharge sont recouverts quotidiennement.

Q En ce qui concerne le réaménagement de l'emplacement, quelles sont les restrictions qui y sont rattachées et comment a-t-on l'intention d'utiliser l'emplacement de la décharge après sa mise hors de service?

R De façon générale, l'utilisation d'anciennes décharges remises en état n'est limitée que par l'interdiction d'y construire des habitations en raison de la présence possible de gaz méthane. Autre complication éventuelle: le tassement qui peut résulter du compactage naturel des déchets. Ces zones régénérées pourraient donc surtout servir comme terrains de sport.

Cet emplacement sera aménagé pour tous les sports pratiqués en plein air, comme le jeu de quilles sur gazon et le tennis extérieur. Le parcours de golf de neuf trous est maintenant terminé. Il y aura également des pistes pour la course et le ski de fond, ainsi que des descentes pour toboggan. Le vaste aménagement lacustre permettra la pratique du canotage et du pédalo, et peut-être même de la pêche. De plus, il y aura des secteurs réservés à la promenade, y compris un habitat naturel abritant des oiseaux originaires de l'endroit.

Q Un plan d'aménagement de ce type peut-il être réalisé ailleurs au Manitoba?

R On ignore pour l'instant si d'autres projets de ce type peuvent voir le jour ailleurs au Manitoba. La faisabilité d'un tel projet en

plus ou moins fonction de sa taille et de l'importance de la zone desservie. De petites communautés, à elles de services restreints, ne bénéficieront peut-être pas des mêmes avantages qu'une communauté plus grande, car le coût du transport des déchets constitue une part importante de la viabilité économique d'une décharge.

Cette opinion est justifiée du point de vue économique, car l'élimination des déchets est optimale lorsque l'emplacement de la décharge est aussi près que possible du centre de la zone desservie. Les aspects sociaux seuls ne justifieraient pas normalement un plan d'aménagement de ce type. Même dans les conditions les plus favorables, une légère perturbation du milieu environnant ne peut être évitée. Par ailleurs, l'expérience a probablement sensibilisé les habitants au fait qu'en prenant une part active à un projet dès le début, ils peuvent exercer une certaine influence sur l'orientation et l'évolution d'un grand projet gouvernemental. Avec des moyens de contrôle et de surveillance préalablement planifiés, un plan de ce type peut se révéler entièrement satisfaisant du point de vue environnemental. Dans le cas présent, par exemple, l'état du sous-sol était presque idéal, et peut-être n'y avait-il pas de meilleur choix possible à Winnipeg.

Q D'autres avantages peuvent-ils être tirés du plan d'aménagement du parc Kil-Cona?

R Cette décharge aura une grande capacité de production de méthane. On évaluera probablement dans un avenir rapproché la quantité et la qualité du gaz qu'il serait possible de capter. Les principales installations du complexe sportif pourraient être facilement converties au gaz méthane, ce qui le rendrait en partie auto-suffisant, du point de vue énergétique. Le méthane pourrait aussi être utilisé pour éclairer le parc et chauffer la serre pendant les mois d'hiver.

R* E.H. Klassen, P. Eng., Manager of Engineering, Works and Operations Division, Waterworks, Waste, and Disposal Department, ville de Winnipeg.

Étude de cas - Décharge contrôlée de Keele Valley

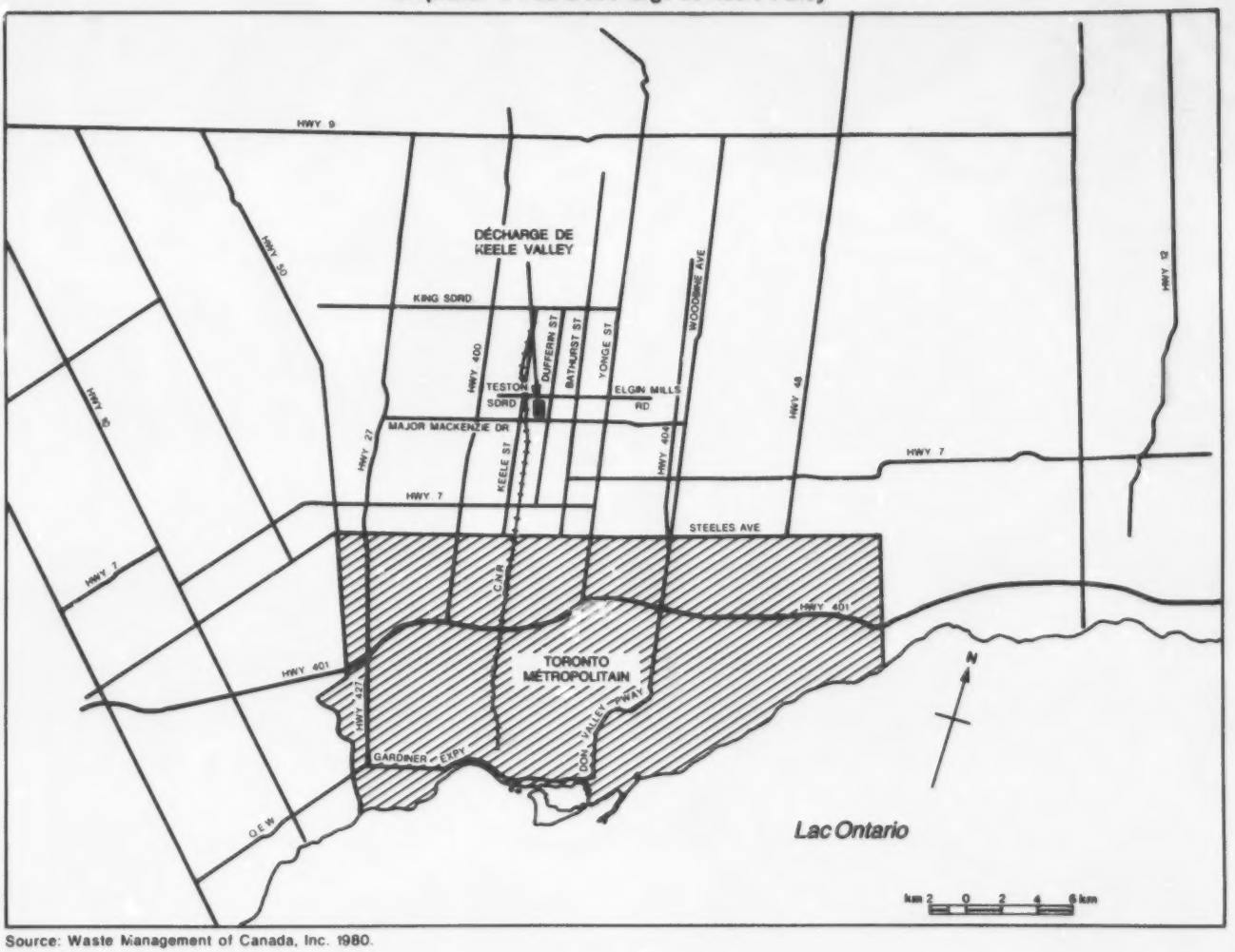
Introduction

Personne ne veut d'une décharge contrôlée derrière chez soi, et les citoyens de Maple, en Ontario, n'ont pas fait exception à la règle. Ils se sont opposés énergiquement à un projet de décharge contrôlée dans leur secteur, et ils ont fait savoir aux autorités gouvernementales, ainsi qu'aux propriétaires de l'emplacement et aux exploitants qu'ils avaient des inquiétudes quant à la santé, à la sécurité des personnes, et à la protection de l'environnement. Le résultat de toutes ces démarches ne fut pas une annulation pure et simple du projet, comme les citoyens l'avaient espéré, mais la décision d'aménager une décharge contrôlée à cet emplacement avec, cependant, le strict respect des normes environnementales. Ce n'est qu'après des contrôles très stricts qu'un certificat d'autorisation serait émis par le ministère ontarien de l'Environnement pour l'aménagement et l'exploitation de la décharge.

La décharge de Keele Valley, mieux connue sous le nom de Maple Landfill Site, est située à 10 km au nord de Toronto, dans la municipalité de Vaughan, à 1,5 km au nord et à l'est de la communauté de Maple. «L'emplacement est limité au nord par la route secondaire de Teston; à l'est, par une parcelle boisée, le complexe de ski Honey Pot et les terres agricoles; au sud, par une zone d'extraction d'agrégats; et enfin à l'ouest, par des terres agricoles et industrielles» (Waste Management of Canada Inc., 1980).

Parmi les utilisateurs des terres et les principales activités le long de la périphérie de l'emplacement, on peut citer des compagnies de bois de construction, des fabricants de blocs de ciment,

CARTE 1.
Emplacement de la décharge de Keele Valley



Source: Waste Management of Canada, Inc. 1980.

l'extraction d'agrégats, une usine de béton préparé, des établissements industriels, un centre de recherche en pêcheries, un club équestre, une usine fabriquant des produits en acier, des fermes, quelques habitations, et des activités commerciales.

Le site était celui d'une ancienne exploitation forestière qui, une fois déboisé, a été transformé en terre agricole. Étant donné que l'emplacement se trouve dans un kame, dès 1908 on a commencé à en extraire du sable et du gravier. Avec le temps, l'extraction continue de sable et de gravier a laissé de profondes carrières d'une superficie de plusieurs centaines d'hectares. Ces carrières sont entourées de pentes très abruptes; elles renferment peu de végétation et sont soumises à une forte érosion par le vent. On pense actuellement qu'avec l'aménagement et l'exploitation d'une décharge contrôlée, on pourrait convertir ces carrières à ciel ouvert en terrain de loisirs de plein air.

Cet emplacement particulier a fait l'objet de nombreuses tractations politiques. La première demande de permis d'exploitation d'une décharge contrôlée a été soumise en 1973, et pendant 9 ans elle a été exposée aux diverses influences politiques. L'autorisation finale pour l'aménagement de l'emplacement a été obtenue après de nombreuses difficultés. Au printemps de 1983, on attendait encore le permis final pour enfin ouvrir la décharge.

Les problèmes environnementaux qu'une décharge contrôlée de cette taille pourrait causer ont sérieusement préoccupé le ministère ontarien de l'Environnement ainsi que les citoyens de Maple, voisins de la décharge. Pour obtenir l'autorisation d'aménager et d'exploiter l'emplacement, le propriétaire, Waste Management of Canada Inc., a fait appel aux services d'experts qui ont prouvé qu'il existe des techniques d'ingénierie permettant de surmonter des problèmes environnementaux comme la production de gaz méthane et la contamination des eaux souterraines.

Cette étude de cas montre quelles sont les considérations environnementales, associées à l'aménagement et à l'exploitation d'une décharge contrôlée, et combien de temps peut s'écouler avant qu'on obtienne l'autorisation finale d'exploitation.

A

B

C

Photos 18 a, b, c Ces trois photos aériennes montrent le site projeté pour la décharge de Keele Valley, à trois époques différentes. Photo 18a, en 1946 avec seulement de petites carrières de sable et de gravier en activité. Les terres environnantes étaient cultivées ou boisées. La ville de Maple se situe dans la partie inférieure gauche de la photo. Photo 18b, même région en 1960; les carrières de sable et de gravier ont empiété sur les zones agricoles et forestières. La ville de Maple a aussi pris de l'expansion. Photo 18c, la région en 1981. Les carrières de sable et de gravier envisagées comme emplacement de la décharge de Keele Valley sont maintenant de grands espaces creusés et il n'y a plus ni champs ni forêt. La ville de Maple s'est agrandie et les voies d'accès au site sont bien marquées.

A10110-21, A17185-149, A25648-59. Ces photographies aériennes © 1946, 1960 et 1981, Sa Majesté la Reine du chef du Canada sont tirées de la collection de la Photothèque nationale de l'air. Elles sont reproduites avec l'aimable autorisation d'Énergie, Mines et Ressources Canada.

Historique

C'est en 1967 que cette zone fut repérée pour la première fois comme emplacement possible d'une décharge contrôlée, comme en fait foi un rapport préparé par la municipalité de Toronto. À cette époque, les deux bureaux d'experts-conseils, soit James F. MacLaren Ltd. de Toronto et Black & Veatch de Kansas City, conseillèrent aux autorités de Toronto d'acquérir l'emplacement pour l'élimination des déchets, à une date située entre 1976 et 1986.

> *«En janvier 1968, le Conseil municipal de Toronto accepta la demande de permis de la ville de Vaughan pour faire de l'emplacement dit «Maple Site» un lieu d'élimination des déchets, et le même conseil vota un budget de 1,5 million de dollars pour l'acquisition et l'aménagement préalable de l'emplacement. Les négociations en vue de l'acquisition n'aboutirent pas. Un rapport du service des travaux de la ville de Toronto mentionnait qu'à cette époque la tendance était au recyclage des déchets, le ministère ontarien de l'Environnement prévoyant même que vers 1985 presque 85 % des déchets urbains seraient recyclés»* (Globe and Mail, du 2 septembre 1981, p. 5).

Ensuite, en 1973, les cinq compagnies qui étaient propriétaires du secteur des carrières décidèrent de faire une demande en vue d'y aménager une décharge contrôlée. Les intérêts des cinq propriétaires fonciers étaient représentés par deux compagnies, à savoir Superior Sand Gravel & Supplies Ltd. et Crawford Allied Industries Ltd. Ces deux compagnies firent chacune appel aux services d'ingénieurs conseil différents pour le plan d'aménagement des décharges, et chacune était représentée par ses propres avocats lors des audiences publiques. Les deux compagnies proposèrent des plans d'aménagement différents et des techniques anti-pollution originales.

> *«La principale contrainte dans le plan d'aménagement de la décharge était la protection des eaux souterraines. La carrière constituait une partie de la zone d'alimentation d'une importante nappe souterraine. L'élimination locale de sol superficiel fait de till, et le creusement des carrières résultèrent en une alimentation beaucoup plus abondante de la nappe souterraine. Il était essentiel que la qualité et la quantité des eaux souterraines soient conservées»* (Poland, 1981).

Superior Sand Gravel & Supplies Ltd. soumit en août 1973 une demande pour l'exploitation d'une décharge contrôlée s'étendant sur 157 ha, propriété de J. Cheffero Sand & Gravel Ltd., Disposal Services Ltd., et Superior. Par la suite, Crawford Allied Industries Ltd. présenta en mars 1976 une demande d'exploitation d'une décharge contrôlée d'une superficie de 71 ha, propriété de Crawford, Downtown Sand & Gravel Ltd.

L'existence dans le même secteur d'une décharge déjà aménagée et de deux autres décharges déjà en activité compliquait encore davantage les demandes de ces deux permis séparés d'exploitation de décharge et parmi ces trois décharges, deux contaminaient les eaux souterraines. En dépit du fait que les deux demandes étaient accompagnées de plans d'aménagement totalement différents, le ministère de l'Environnement décida que, en raison de leur proximité, elles seraient étudiées concurremment lors d'une seule audience d'évaluation environnementale. La période d'examen s'étala de juillet 1976 à novembre 1977. Dans un rapport du 5 avril 1978, le ministère rejeta les deux demandes pour les raisons suivantes:

—les renseignements techniques fournis à la commission étaient insuffisants;

—les candidats partageaient une limite commune de 2 135 m; les techniques de protection des eaux souterraines proposées par les candidats étaient incompatibles avec le milieu et ne pouvaient être surveillées de façon autonome. Il existait déjà un problème de contamination de l'eau souterraine par d'anciennes décharges, situées au nord de l'emplacement proposé, et cette contamination risquait de fausser les résultats obtenus avec les nouvelles installations;

—la durée de vie et la capacité prévues pour la nouvelle décharge semblaient excessives à la lumière des progrès prévisibles dans le domaine de la récupération de ressources à partir des déchets.

Finalement, il fut impossible de s'entendre avec la municipalité quant à la fourniture des services nécessaires à l'emplacement (Poland, 1981).

À la suite de ce rejet de leur demande, les responsables de Crawford Allied Industries Ltd. et de Downtown Sand & Gravel Ltd. abandonnèrent le projet. Superior Sand Gravel & Supplies Ltd. acheta leur part et, avec Waste Management of Canada, Inc., décida d'en appeler de la décision. La proposition fut modifiée spécialement pour tenir compte des raisons invoquées pour le refus des permis:

- «on ferait appel à une seule stratégie antipollution pour la protection de l'eau souterraine sur tout l'emplacement. Waste Management of Canada Inc. serait le seul exploitant de la décharge, et tout le terrain utilisé pour cette décharge serait la propriété de Superior, ou sous son contrôle;
- des puits de décontamination seraient creusés pour empêcher que les contaminants sortent des décharges;
- un accord fut conclu avec la municipalité pour la construction et le financement des installations de services publics à la décharge;
- la superficie de l'aire de décharge fut réduite, de façon à diminuer la durée de vie prévue pour son exploitation» (Poland, 1981).

Une équipe multidisciplinaire de consultants et de chercheurs fut réunie pour évaluer les travaux accomplis jusque-là, et améliorer la qualité des caractéristiques techniques de la proposition. À la date où l'appel fut entendu, environ 21 firmes et particuliers avaient participé au projet. La majeure partie des études préparatoires concernait l'évaluation du revêtement d'argile proposé pour la décharge, et celle des conséquences hydrogéologiques pour l'emplacement.

Les plans de la décharge de Keele Valley montrent qu'elle allait être utilisée comme un emplacement «fermé». La mise en place d'un revêtement de till de très faible perméabilité était prévue à la base de l'emplacement avant la mise en exploitation de la décharge. «Ce revêtement empêchera les gaz de sortir de la décharge, et limitera la migration des produits d'infiltration à un point tel que les pertes à partir de la décharge auront des conséquences négligeables pour l'eau souterraine» (Waste Management of Canada, Inc., 1980). Ce même revêtement permettra aussi d'arrêter les liquides produits par les déchets ou traversant ces derniers, et de les traiter avant leur évacuation.

> *«L'emplacement serait aussi aménagé pour fonctionner comme une décharge «humide». Les déchets allaient être humidifiés de façon à stimuler l'activité microbiologique et à accélérer leur décomposition. Cela aurait pour but de stabiliser la décharge pendant les périodes d'efficacité maximale du revêtement...»* (Poland, 1981).

Un système de récupération des gaz à l'échelle commerciale était prévu pour l'utilisation éventuelle des gaz produits par la décharge comme source d'énergie; la ventilation ou le brûlage à la torche étaient également envisagés. Le revêtement d'argile permettrait de contenir le gaz, et celui-ci serait recueilli et vendu sur le marché. De cette façon, la migration des gaz et des odeurs de la décharge serait contrôlée efficacement.

> *«L'audition de l'appel commença en novembre 1978 et se poursuivit jusqu'en janvier 1980. Le 1er avril 1980, un règlement favorable fut émis par la Commission d'appel ... La décision qui ordonnait au ministère d'émettre le permis d'exploitation de la décharge renfermait 18 conditions, et la plupart d'entre elles étaient nouvelles et très strictes. La décision dans son ensemble fut considérée comme une victoire mitigée par ceux qui s'étaient*

opposés à la venue de la décharge» (Poland, 1981).

Parmi les dix-huit conditions précisées dans le permis, six étaient particulièrement significatives, et elles étaient décrites en détail par le ministère de l'Environnement dans le certificat provisoire d'acceptation.

1. Inventaire complet et détaillé permettant d'évaluer les effets de l'exploitation de cette décharge sur la faune ou la végétation. L'étude devait être faite avant la mise en service de la décharge, et servir de base de données à l'évaluation de toute demande de dommages et intérêts qui pourrait être intentée à la décharge.
2. Mesures pour mettre fin à la contamination de l'eau souterraine, causée par les décharges existantes (au nord de l'emplacement proposé).
3. Aménagement et vérification sur place du rendement d'un revêtement de till, de 1,2 m d'épaisseur.
4. Désignation d'un géotechnicien pour superviser tous les aspects de la mise en place du revêtement; engagement d'un tiers expert pour surveiller toute la construction du revêtement, et effectuer des essais pour le ministère de l'Environnement.
5. Préparation et mise en oeuvre d'un programme pour interdire le dépôt de produits dangereux dans la décharge.
6. Divulgation de tous les renseignements et documents techniques, recueillis par le ministère, aux parties qui s'étaient opposées à l'implantation de la décharge lors des audiences relatives à l'environnement.

Après les discussions avec le ministère pour interpréter l'ordonnance de la Commission d'appel, des programmes furent mis au point par Waste Management of Canada Inc. précisément pour satisfaire aux conditions imposées par la province (Poland, 1981).

Les résultats des programmes, les études techniques, et les éléments requis pour que les 18 conditions soient remplies, figurent dans les huit volumes des Keele Valley Landfill Design Reports, achevés en décembre 1980 (voir l'annexe 1).

La première condition significative à remplir était l'inventaire environnemental. On étudia les points suivants: qualité et quantité de l'eau souterraine; qualité et quantité de l'eau de surface; migration des gaz et odeurs dues à la décharge existante; végétation, faune de vertébrés et d'invertébrés, bruits, déchets éparpillés, et aspect visuel.

« ... Des photographies aériennes sur une superficie d'environ 10 milles carrés [26 km²] ont permis d'obtenir une mosaïque de l'aire étudiée, et de rassembler des documents de référence dans l'éventualité de futures réclamations pour dommages.

On a répertorié les puits situés hors des limites de l'emplacement, sur une superficie de 4 milles carrés [10 km²] en vue de déterminer leur état et leur niveau (eau). De plus, des analyses qualitatives complètes de l'eau ont permis de faire le point sur ce qui s'était passé jusque-là. Les mesures eurent lieu en 41 points d'observation sur l'emplacement de la future décharge, et à environ 50 endroits à l'extérieur des limites de cet emplacement. Sept stations de jaugeage de cours d'eau ont été installées à l'intérieur de la zone étudiée. À chaque station, on a mesuré mensuellement pendant un an le débit et la qualité de l'eau» (Poland, 1981).

Des sondes devaient être installées au voisinage des décharges existantes pour mesurer la migration des gaz produits. De plus, on a évalué la production de particules de matières et d'odeurs à partir des gaz, des déchets bruts et des fumées libérées, afin d'en déterminer les effets sur la qualité de l'air. La végétation a été cartographiée sur une superficie de 10 km² par photographie aérienne infrarouge et des vérifications au sol, en vue d'établir le nombre et le type d'espèces et les contraintes qui s'exerçent sur cette végétation.

« ... La caractérisation des espèces animales et de leur densité se limitait généralement à la zone limitrophe immédiate de l'emplacement, mais certaines études portant sur les oiseaux s'étendirent sur une région de dix milles carrés [26 km²] ... La diversité des espèces a été répertoriée et la densité de la flore aquatique a été déterminée à chacune des sept stations de jaugeage. Les invertébrés, les poissons et les amphibiens ont fait eux aussi l'objet de recherches à chacun de ces endroits.

Le bruit ambiant a été mesuré en dix points voisins de la future décharge et des voies d'accès.

Des échantillonnages transversaux et ponctuels, ainsi que des photographies aériennes ont servi à déterminer le mode de dissémination des déchets au voisinage de la décharge ... L'inventaire environnemental a nécessité les services de quatre firmes d'experts-conseils pendant une période de douze mois, dont le coût approchait les 100 000 dollars» (Poland, 1981).

La seconde préoccupation était la régénération des eaux souterraines. La nappe souterraine, exposée à la base des carrières, était considérée comme une ressource importante devant être protégée. La migration de contaminants provenant des décharges existantes avait entraîné une grave détérioration de la qualité de l'eau souterraine au-dessous de l'emplacement prévu pour la nouvelle décharge. Le ministère de l'Environnement a fait savoir que la contamination de la nappe souterraine était excessive, et qu'elle pouvait encore être aggravée par une contribution toujours possible de la nouvelle décharge, où le risque d'infiltration à travers le revêtement argileux n'était pas écarté de façon absolue. Il aurait fallu donc, comme le précise le document, que des puits de décontamination soient aménagés en amont de l'emplacement proposé, pour empêcher toute autre migration de contaminants à partir des décharges existantes.

On prévoit construire toute une série de puits de décontamination. Cinq puits aménagés à la limite nord de la nouvelle décharge sont destinés à recueillir toutes les eaux s'écoulant au-dessous des décharges. Ces puits qui se trouvent en amont de la nouvelle décharge seront utilisés jusqu'au moment où la qualité de l'eau atteindra ou dépassera les normes qualitatives établies pour les puits en aval de la nouvelle décharge. Le contenu des puits sera déversé, si possible, sur les déchets, de façon à en accélérer le processus de décomposition; sinon, il sera évacué dans l'égout séparatif. Des puits d'observation seront aménagés en même temps que les puits de décontamination de façon à pouvoir évaluer leur rendement.

En vue des audiences portant sur l'environnement, de nombreux essais ont été effectués pour s'assurer de l'efficacité des sols argileux de l'endroit, comme matériaux de revêtement de la décharge. On a également analysé le till en vue de trouver la valeur des paramètres suivants: limites de contraction; solubilité dans le percolat; acide carbonique et acide chlorhydrique; minéralogie des fractions fines et grossières; et capacité d'échange cationique. Des tills de différentes teneurs en argile furent soumis aux essais. Le revêtement d'argile est un élément important du plan d'aménagement de la décharge, car il est destiné à retenir le percolat ainsi que le méthane gazeux ou le gaz carbonique produits par les déchets. En outre, un système collecteur sur le revêtement de fond captera le percolat, et permettra d'envoyer les gaz soit à la torche pour être brûlés, soit à un dispositif de stockage pour servir de source d'énergie future. Comme la couche protectrice d'argile constituait l'élément le plus important de la proposition, un laboratoire d'analyse des sols complètement équipé a été installé sur place, et on a élaboré un programme de contrôle de la qualité. Un technicien en géotechnique, responsable du programme de contrôle de la qualité, a été assigné à plein temps sur les lieux.

Conformément aux exigences du ministère de l'Environnement, l'exploitant de la décharge a fait appel à un spécialiste des sols pour superviser l'ensemble de la mise en place de la couche protectrice. De plus, le spécialiste étudie tous les rapports établis par le laboratoire installé sur place, il effectue des essais de contrôle de qua-

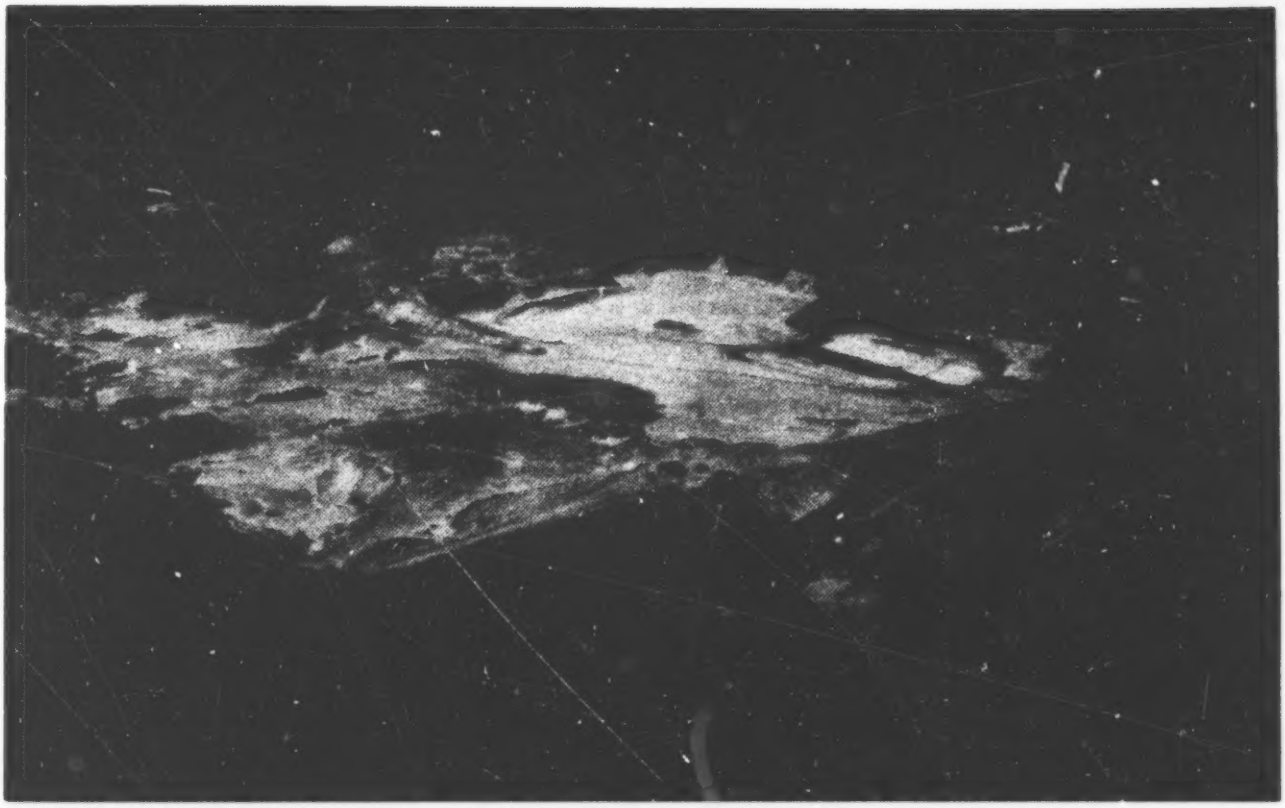


Photo 19. Cette photo montre les dimensions considérables du site proposé pour la décharge de Keele Valley. Elle devrait pouvoir contenir 20 millions de tonnes de déchets provenant de Toronto.
Waste Management of Canada, Inc., Weston (Ontario)

lité, et vérifie les mesures portant sur les propriétés des matériaux. Le ministère de l'Environnement a fait appel à un autre pédologue pour superviser les travaux effectués par le géotechnicien du service de gestion des déchets, et par l'autre pédologue. Il fallait pour obtenir l'autorisation d'exploiter la décharge, démontrer sur place l'imperméabilité de la couche protectrice.

Autre condition: seules les déchets classés comme non dangereux seraient acceptés à la décharge, tous les matériaux devant être inspectés, avant leur déversement, pour s'assurer de leur conformité. On établirait un contrat pour tout client désirant utiliser la décharge. Dans le contrat, le client devait s'engager à ne pas déposer de déchets dangereux dans la décharge.

On a inventorié les circuits suivis par les déchets, et on a créé un programme d'échantillonnage et d'analyse des matériaux suspects avant toute autorisation de déversement. Un programme était prévu pour l'inspection des déchets amenés à la décharge.

Si l'exploitation de la décharge de Keele Valley est autorisée officiellement, elle sera une des plus grandes décharges d'Amérique du Nord. Le permis d'exploitation vise une superficie totale de 375 ha; cependant, la décharge elle-même n'occupe que 99 ha. Elle desservira la région de Toronto, d'Etobicoke à Pickering, sur une distance de 50 km, et elle aura une capacité annuelle de plus de 1 000 000 t de déchets.

On prévoit que les activités s'étendront sur 15 à 20 ans, avec une capacité de décharge d'environ 20 millions de tonnes. Chaque jour, à peu près 500 camions y déverseront leur chargement, ce qui correspond à une moyenne d'un camion par minute qui franchit le portail pour se rendre à la balance. La décharge recevra donc environ 5 000 t de déchets par jour, et sera en service 5 jours et demi par semaine.

Chaque jour, après la fin des opérations, les déchets seront recouverts de 15 à 23 cm de sable, ce qui aidera à éloigner les rongeurs et les oiseaux et à éliminer les odeurs et autres nuisances. La décharge est divisée en quatre parties; une clôture de chaînes sera mise en place autour de chacune de ces parties avant le début du déversement de déchets. Ce n'est qu'à la fin des opérations dans l'une des parties que les activités pourront commencer dans une autre, ce qui assurera une progression ordonnée et régulière. «Après la mise en place de la couche d'argile protectrice et l'installation du système permettant de recueillir les produits d'infiltration, le dépôt des déchets se fera par la technique du talus, avec une hauteur d'élévation maximale de 3 m» (Waste Management of Canada Inc., 1980).

Il faut tenir compte d'un certain nombre de facteurs si on veut minimiser les effets d'une décharge au-delà de son emplacement. Les routes sans revêtement seront traitées au chlorure de calcium, aux hydrocarbures ou à l'eau pour éviter le soulèvement de poussières.

«Des clôtures pour arrêter les déchets et autres débris emportés par le vent, seront érigées du côté de la décharge sous le vent. Un dispositif d'aspiration sous vide, monté sur tracteur, servira à collecter les déchets éparpillés par le vent. Les odeurs émanant des secteurs actifs de la décharge seront éliminées par application de matériaux de couverture et (ou) d'eau. Les gaz nuisibles seront brûlés à la torche, ce qui éliminera

les odeurs déplaisantes. Une compagnie d'extermination sera engagée par contrat pour inspecter mensuellement la décharge, et prendre toute mesure requise pour l'élimination des rongeurs ... Si le rassemblement saisonnier d'oiseaux à l'emplacement de la décharge pose un problème, un programme sera mis en oeuvre pour les en éloigner» (Waste Management of Canada Inc., 1980).

Dans le cadre du plan d'aménagement, une voie d'accès distincte sera construite pour contourner la zone résidentielle et empêcher ainsi les camions, le bruit, les odeurs et les déchets éparpillés de gêner les gens habitant dans ce secteur. Deux routes permettront d'accéder à la décharge. Les trois quarts des camions viendront de l'ouest, le long de la voie de déviation nord-ouest, le dernier quart viendra du sud, en utilisant les routes principales pour y accéder.

Après son utilisation comme décharge, il est prévu que l'emplacement sera aménagé en zone récréative ou en parc, avec couverture végétale, pour des jeux de plein air. Une fois l'exploitation de la décharge terminée, elle sera recouverte de 1,05 m de sol, sur lequel on ajoutera 15 cm de couche arable; de l'herbe et des arbres sélectionnés à l'avance y seront ensuite plantés. L'altitude maximale de l'emplacement est de 305 m au-dessus du niveau de la mer, et il domine de 30 m la route secondaire de Teston. Le plan d'aménagement final prévoit des crêtes linéaires, semblables au relief original, avec des pentes, dont la plus abrupte aura une inclinaison de 65 degrés. Il y aura des pentes beaucoup moins raides, qui prolongeront les pistes de ski du centre Honey Pot, ainsi qu'une piste pour randonnées à pied. L'emplacement comprendra également un système de drainage pour diriger les eaux de ruissellement provenant des précipitations vers les bassins d'alimentation de la nappe souterraine. En plus de la mise en valeur du relief, les plans prévoient la revégétation à long terme de l'emplacement. Des conifères et des feuillus serviront à protéger du vent les futures aires récréatives. Un peuplement mixte d'arbustes et d'arbres, plantés le long des pentes latérales, formera écran et abritera de la vue les terres voisines. Une troisième sorte de végétation, constituée de petits arbustes et de plantes recouvrant le sol, servira à créer des habitats pour la faune, et fournira toute une gamme de couleurs, de formes, d'abris et d'aliments. La sélection définitive des espèces végétales dans chaque groupe sera faite après l'étude des caractéristiques techniques de la décharge, comme la récupération du gaz méthane, la production de chaleur, et les effets liés à la survie des végétaux (Hough *et al.*, 1980).

Les calculs et les plans tiennent compte de tous les facteurs qui interviennent dans l'aménagement d'une décharge contrôlée, à savoir: les voies d'accès, l'augmentation du trafic, le bruit, les odeurs, la poussière, les déchets éparpillés, les rongeurs, les dommages à la végétation, la faune, la contamination de l'eau souterraine et de l'eau de surface, la migration du méthane, les services nécessaires à la décharge, la mise en valeur de l'emplacement, son réaménagement, et son utilisation finale.

Cependant, après tous les rapports, échanges et études, le ministère de l'Environnement n'a toujours pas, en mars 1983, donné l'autorisation finale d'exploiter la décharge. Au début de septembre 1981, le Globe and Mail parlait une fois de plus en gros titres de la décharge «Maple». Cette fois-ci, l'article précisait que Toronto avait entrepris des négociations pour acheter l'emplacement dit «Keele Valley Site» à la compagnie Superior Sand & Gravel pour la somme de 38 millions de dollars. Il était prévu en mars 1983 que l'emplacement serait vendu à Toronto en mai 1983. Mais comme l'acquisition n'est pas encore officielle, l'exploitation et la propriété future de l'emplacement demeurent incertaines. Le projet Keele Valley devait démarrer dans les quatre ans, mais à la fin de 1982 il y avait déjà neuf ans que les choses traînaient et les coûts avaient quadruplé.

En résumé, l'étude du cas de Keele Valley a montré la complexité des procédures de demande de permis d'aménagement et d'exploitation d'une décharge contrôlée. En raison des dimensions énormes de la décharge prévue dans le cas de Keele Valley, certains problèmes, habituellement d'ordre mineur, se sont amplifiés. Néanmoins, les difficultés rencontrées et les solutions apportées ressemblent à celles que l'on retrouve dans le cas de toutes les décharges contrôlées, à savoir:

- les décharges contrôlées demeurent un objet de controverse pour le public;
- les négociations pour obtenir le permis d'exploiter une décharge contrôlée risquent de durer très longtemps;
- il existe des moyens de protection très efficaces de l'environnement permettant de minimiser les effets néfastes possibles des décharges contrôlées.

Appendice I

Rapports et plans pour la décharge de Keele Valley

Volume I:	Executive Summary (Waste Management of Canada, Inc.)
Volume II:	Water Resources (International Water Consultants Ltd., Saskatoon-Barrie-Montréal)
Volume III:	Site Development Report (Conestoga-Rovers & Associates Consulting Engineers, Waterloo, Ontario)
Volume IV:	Geotechnical Aspects of Clay Liner System (Golder Associates, Mississauga, Ontario)
Volume V:	Accelerated Stabilization and Gas Control and Recovery (Emcon Associates)
Volume VI:	Site Servicing (Proctor & Redfern Group Consulting Engineers & Planners)
Volume VII:	Site Finishing (Hough, Stansbury & Michalski Limited)
Volume VIII:	Environmental Baseline Study Design (Ecologistics Limited, Ontario Research Foundation and Valcoustics Canada Limited)

Étude du cas de la décharge contrôlée régionale de la route 101

Introduction

L'ouverture en 1977 de la décharge contrôlée régionale de la route 101 a marqué le point culminant de cinq ans d'efforts pour trouver un emplacement pour une décharge contrôlée devant desservir la région Halifax-Dartmouth et pour l'aménager.

Tout commença en octobre 1972, lorsqu'une étude commandée par le MAPC (Metropolitan Area Planning Committee)[1] permit de conclure qu'une «décharge contrôlée se révélait nécessaire pour recevoir la totalité des déchets solides de la zone en pleine croissance d'Halifax-Dartmouth» (Canplan Consultants Ltd., 1972). Une étude des modes existants d'élimination des déchets solides révéla qu'ils étaient tout à fait inefficaces et inacceptables du point de vue environnemental. D'autres systèmes, comme l'incinération, le recyclage, et la production thermique d'électricité, furent aussi examinés en vue de voir quelle était la meilleure solution. On en arriva à la conclusion que, même si l'incinération et le recyclage pouvaient fournir une réponse partielle au problème de l'élimination des déchets, les cendres et les déchets non recyclables nécessitaient une décharge contrôlée. L'utilisation des déchets solides pour la production d'énergie thermique a été sérieusement envisagée, mais, c'est la décharge contrôlée qui a été retenue, car un système de production d'énergie thermique ne deviendrait opérationnel qu'après un temps très long, et son coût serait très élevé. De plus, on encourageait l'entreprise privée à s'équiper pour recycler le papier et autres déchets.

Dès le début, on se rendit compte de la nécessité d'un programme d'information du public pour faire face aux mouvements d'opposition. Cependant, on ne pensait pas que l'opposition du public pourrait avoir un effet limitatif sur le choix final d'un emplacement, mais, en fait, c'est la réaction du public qui a constitué le fac-

teur déterminant dans le processus de sélection de l'emplacement de la décharge.

La situation en 1972

En 1972, les villes de Halifax et Dartmouth exploitaient chacune une installation d'élimination de déchets solides. Lorsque c'était possible, les secteurs limitrophes du comté de Halifax utilisaient l'incinérateur de cette ville en payant une redevance. On estime qu'en 1972, la ville de Halifax ramassait et éliminait annuellement 135 000 t d'ordures. Sur cette quantité, 82 000 t (60 %) étaient traitées par incinération (Canplan Consultants Ltd., 1972). Le reste était transporté au dépotoir de Halifax à l'extrémité nord de la péninsule. Là, aussi bien les déchets bruts que les résidus de l'incinérateur étaient déversés dans le bassin de Bedford et servaient de matériaux de remplissage.

La ville de Dartmouth exploitait aussi un incinérateur et une décharge contrôlée. Depuis l'installation de l'incinérateur en 1968, on évalue à 23 000 t la quantité de déchets solides brûlée annuellement. D'une capacité de 136 t par jour, l'incinérateur fonctionne avec trois équipes, cinq jours par semaine. Les résidus de l'incinérateur étaient déversés dans la décharge avec d'autres types de déchets secs. On prévoyait que cette décharge atteindrait sa pleine capacité de fonctionnement en l'espace de quelques années.

Dans les deux endroits, les incinérateurs fonctionnaient à leur pleine capacité ou presque. Le vieil incinérateur de Halifax avait besoin de réparations importantes, et la capacité supplémentaire nécessaire pour répondre aux besoins du comté ne pouvait être obtenue sans la mise en oeuvre de tout un programme de réparations majeures. Aucun des incinérateurs, que ce soit à Halifax ou à Dartmouth, n'était équipé d'un dispositif efficace pour empêcher la contamination de l'air, ni d'une installation de traitement des eaux usées. La mise en décharge brute dans les deux décharges contrôlées entraîna des problèmes d'ordre esthétique et environnemental. Voici ce que dit le rapport Canplan: «Lors de chaque mise en décharge brute, le risque de migration du percolat jusqu'au bassin est élevé ... Avec l'utilisation permanente de la décharge de Halifax, il y aura entraînement de produits d'infiltration aussi bien à partir des déchets transportés directement à cet endroit ... que des résidus de l'incinérateur qui y sont déversés.» (Canplan Consultants Ltd., 1972). En plus des problèmes d'ordre environnemental et esthétique, le coût unitaire de l'élimination était très élevé.

Il a donc été proposé de cesser d'utiliser les incinérateurs dès que la décharge contrôlée serait ouverte, et de fermer la décharge de Halifax. On a envisagé d'enlever une partie des déchets et de les remplacer par des matériaux rocheux de façon à créer une assise stable pour l'aménagement du dépôt de conteneurs de Fairview Cove. On a étudié plusieurs autres solutions de remplacement pour éliminer les vieux déchets, et l'une d'elles consistait à les amener à la décharge contrôlée de la route 101. La firme d'experts-conseils Beasy Nicoll Engineering Ltd. (1980) fournit des renseignements détaillés à ce sujet.

Choix de l'emplacement

Fondé sur des études préliminaires, le rapport Canplan de 1972 en arrivait à la conclusion que l'emplacement dit «Beaverbank-Windsor Junction» (également appelé «Sackville Landfill») devait faire l'objet de recherches supplémentaires. La carte n° 2 montre la situation géographique de l'emplacement proposé. Cet emplacement avait été choisi en fonction des caractéristiques suivantes: a) éléments géologiques, pédologiques et hydrologiques; b) accessibilité par les camions transportant les déchets, à partir de Halifax-Dartmouth; et c) superficie de terrain requise.

En novembre 1973, le MAPC fit appel aux services de Canplan Consultants Ltd. pour étudier le site de façon plus détaillée. Un rapport précédant le plan d'aménagement, daté du mois de novembre 1974, décrivait les travaux effectués dans le cadre de la phase d'étude technique. Les conditions physiques de l'emplacement convenaient bien à l'aménagement d'une décharge contrôlée. Les résultats des essais effectués sur les sols montraient que tout le secteur était recouvert de matériaux allant de l'argile au till sableux contenant peu de galets; des sondages à une profondeur de plus de 6 m ne révélèrent pas d'assise rocheuse. Le drainage en surface de l'endroit se faisait par deux cours d'eau qui encerclaient presque complètement l'emplacement; l'aménagement d'étangs de décantation et le maintien d'une zone tampon éviterait la progression de l'envasement.

L'opposition la plus vigoureuse à l'aménagement de cette décharge venait de propriétaires fonciers et de l'ensemble de la communauté locale. Après des audiences publiques, tenues par le Environmental Control Council de la Nouvelle-Écosse, le Planning Appeal Board donna le feu vert pour commencer l'aménagement de la décharge. Tous les obstacles juridiques furent levés, et on autorisa le rezonage du secteur pour permettre l'aménagement de la décharge. Enfin, le droit d'expropriation des terres fut accordé.

Mais, en raison de l'opposition persistante, le gouvernement provincial décida d'interrompre temporairement les démarches. Ce faisant, la province s'engageait à étudier un autre emplacement possible, après avoir abandonné le projet de Beaverbank. Le ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse fut chargé par le gouvernement provincial de trouver d'autres emplacements pour l'aménagement d'une décharge. En avril 1975, on mit sur pied un comité de cinq membres, choisis parmi le personnel du ministère, chargé de préparer un rapport sur des emplacements possibles pour une décharge contrôlée devant desservir la région métropolitaine. Ce comité établit une liste de huit emplacements et attribua à chacun d'eux des cotes fondées sur les éléments suivants: a) superficie des terrains disponibles; b) bassins hydrographiques touchés; c) caractéristiques physiques; d) conséquences sociales; e) facteurs économiques. L'emplacement qui obtint la cote la plus élevée fut celui de Jack Lake, près de la municipalité de Bedford (voir la carte n° 2). C'est la Housing Commission de la Nouvelle-Écosse qui détenait les droits sur cet emplacement. Comme dans le cas de l'emplacement Beaverbank-Windsor Junction, les habitants de l'endroit protestèrent énergiquement contre le choix de l'emplacement proposé. Un dessin humoristique dans un journal local illustrait clairement les inquiétudes des habitants.

En automne 1975, un plan de la décharge contrôlée proposée fut présenté lors d'une audience publique du Environmental Control Council de la Nouvelle-Écosse. Un groupement d'habitants de la région de Bedford témoignèrent à l'audience, et tous firent savoir, unanimement, qu'ils s'opposaient au projet de Jack Lake. D'après les opposants, l'utilisation de cet emplacement pour l'aménagement d'une décharge contrôlée était contraire au règlement de zonage municipal en vigueur, au plan de développement régional, ainsi qu'aux désirs du public. Cette prise de position fut contrée par l'argument voulant que la décharge ne soit utilisée que temporairement, et qu'après cette utilisation, l'emplacement soit aménagé en zone de détente. Parmi les autres problèmes soulevés, il y avait les suivants: présence des rongeurs et des mouettes, risque d'incendie, bruit, odeurs, arrêt des travaux dû à des conflits syndicaux[2] ou à des conditions météorologiques défavorables, et accroissement du trafic. On craignait aussi que la valeur des biens immobiliers ne subisse une baisse sensible.

En dépit du fait qu'il manquait certaines données techniques, l'emplacement fut accepté du point de vue environnemental, tant par le gouvernement fédéral que par les autorités provinciales.

Le ECC de Nouvelle-Écosse proposa en décembre 1975 de «suspendre toute nouvelle démarche en vue d'aménager cet emplacement en décharge contrôlée, jusqu'à ce que les autorités municipales, provinciales et fédérales aient accordé leur autorisation» (Nova Scotia Environmental Control Council, 1975). L'autorisation requise fut accordée et, à la demande du MAPC, Canplan Consultants Ltd. effectua en 1976 d'autres études portant sur les caractéristi-

"Pardon me Sir-but could thou slay another dragon!?"

Légende : La compagnie de bois Barrett était propriétaire du site de Beaverbank-Windsor Junction et a joué un rôle déterminant dans la reconsidération de cet emplacement.
Bedford-Sackville News, 3 mars 1976

ques physiques de l'emplacement, comme la profondeur de l'assise rocheuse, le type de couverture, l'état de l'eau souterraine et de l'eau de surface, ainsi que la présence de matériaux de remblai.

Les fortes pressions sociales et politiques pour empêcher l'ouverture de la décharge subsistaient. Par la suite, la Société centrale d'hypothèques et de logement (SCHL) retira à la Housing Commission de la Nouvelle-Écosse l'autorisation d'utiliser l'emplacement comme décharge contrôlée. Il fallut donc, après cette décision, envisager la recherche d'un troisième emplacement.

Tous les habitants de la région étaient parfaitement au courant que l'on recherchait un emplacement approprié pour une décharge devant desservir les villes de Halifax-Dartmouth. Après le rejet de l'emplacement de Jack Lake, un certain nombre de propriétaires fonciers offrirent à la province de lui vendre leurs terres. En 1977, la province acheta à un particulier, à un prix raisonnable, un emplacement proche de la route 101. Cet emplacement devint un bien de la Couronne, et comme tel fut exempté des règlements de zonage.

Description de l'emplacement

L'emplacement de la route 101 est situé entre Upper Sackville et Mount Uniacke dans la circonscription de Halifax, à 30 km au nord-ouest de Halifax. La route 101 forme la limite nord-est, et la rivière Sackville borde l'emplacement à l'ouest et au nord-ouest. La décharge contrôlée régionale se trouve dans une zone très boisée, et l'aménagement a été réduit au strict minimum. On estime que l'emplacement de 144 ha répondra aux besoins du secteur de Halifax-Dartmouth en pleine croissance, et de la majeure partie de la circonscription de Halifax jusqu'en 1990. L'emplacement, acquis par la province de Nouvelle-Écosse est actuellement exploité par cette même province, et géré conjointement par les autorités de la région métropolitaine de Halifax-Dartmouth, ainsi que par celles de la circonscription de Halifax.

En juillet 1977, Beasy Nicoll Engineering Ltd. et H.J. Porter & Associates Ltd., deux firmes d'experts-conseils, entreprirent des études préliminaires d'ingénierie et d'analyse du sous-sol de l'emplacement de la route 101. La carte nº 3 montre les limites de l'emplacement. Si on le compare aux deux emplacements envisagés précédemment, cet emplacement-ci est plus éloigné de la région métropolitaine de Halifax-Dartmouth que les deux autres, et ses caractéristiques physiques sont moins intéressantes. Le niveau élevé de la nappe phréatique dans une zone de tourbe, la profondeur relativement faible d'une couverture imperméable, et la proximité de la rivière Sackville rendraient très complexes les problèmes d'ingénierie, et augmenteraient considérablement les coûts d'aménagement et d'exploitation. En plus du coût élevé d'aménagement et d'exploitation, les frais de transport pourraient grimper en flèche en raison de la distance supplémentaire à partir de la station de transfert de Halifax. Bien que l'éloignement du nouvel endroit ait eu comme conséquence d'atténuer sensiblement l'opposition du public, celle-ci ne disparut pas complètement. Un comité local formé de résidents, créé au départ pour s'opposer à l'implantation de la décharge, ne servit ultérieurement qu'à véhiculer les craintes locales. Il y eut peu de problèmes et le comité fut dissous peu après.

Tout au long de ces années de controverse, les événements ont été abondamment commentés dans les journaux locaux. Rien n'illustre mieux la force de l'opposition qu'une série de manchettes dans les journaux.

Caractéristiques physiques de l'emplacement

Les études géotechniques ont divisé nettement le site en quatre zones géologiques distinctes: deux drumlins surplombant de plus de 25 m le secteur environnant; une crête de roche de fond, recouverte de till; et une zone basse de tourbe.

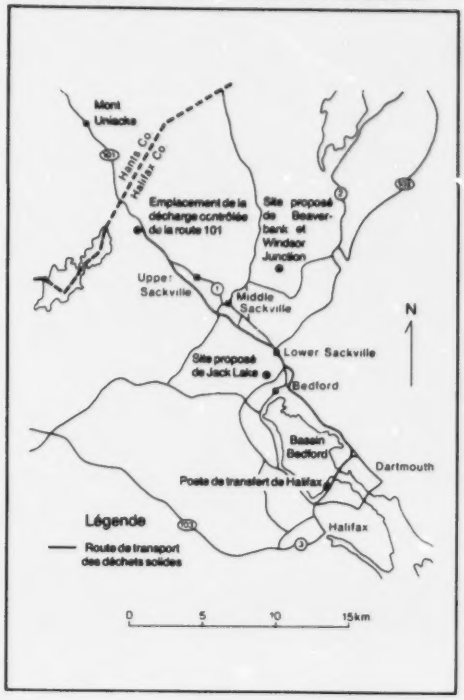
Les sols prédominants, du limon sableux brun et de l'argile limoneuse grise, conviennent généralement bien comme matériaux de couverture. La perméabilité plus faible de l'argile limoneuse grise, comparativement au limon sableux, en fait un matériau de couverture des couches journalières particulièrement efficace. Les dépôts de limon sableux brun se trouvant en surface renferment des systèmes radiculaires qui augmentent la perméabilité. Il a donc été proposé que ce type de sol soit mis de côté pour être utilisé comme couche arable dans le terrassement final.

Il y a présence de dépôts de tourbe dans les zones basses. Avant l'utilisation de l'emplacement comme décharge contrôlée, il a été proposé qu'une couche de 1 m de matériaux de couverture tassés soit étalée sur la tourbe de façon à réduire la perméabilité et à augmenter la densité de cette tourbe. Cela apparaissait nécessaire pour réduire le risque de contamination de l'eau souterraine, due à la migration de contaminants, et pour augmenter la solidité du revêtement pour le passage des camions.

Des grauwackes (sédiments marins déposés, partiellement triés) de la formation de Golden-

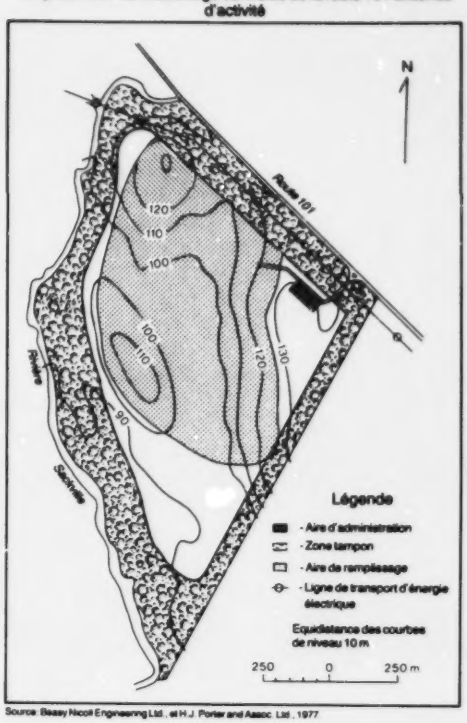
CARTE 2.

Décharge contrôlée de Halifax-Dartmouth - carte de base



CARTE 3.

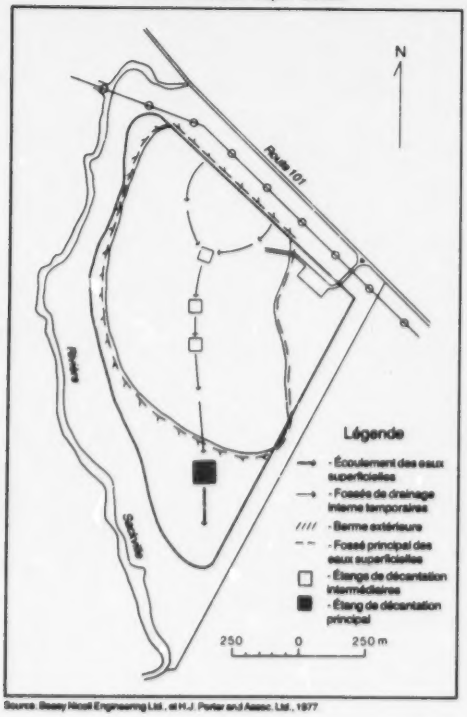
Emplacement de la décharge contrôlée de la route 101 et zones d'activité



Source: Beasy Nicoll Engineering Ltd., et H.J. Porter and Assoc. Ltd., 1977

CARTE 4.

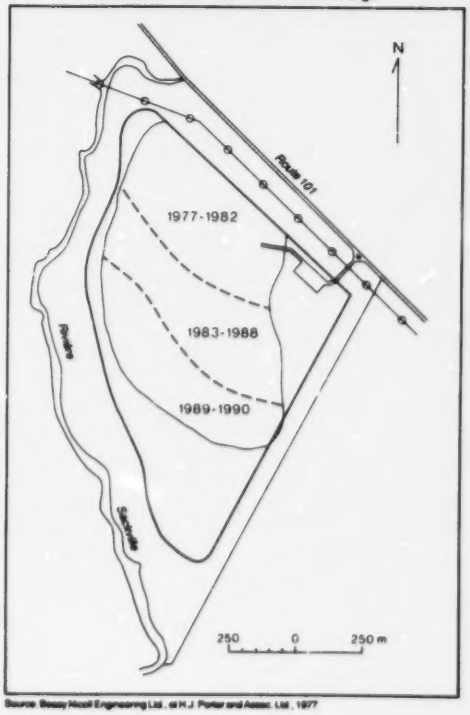
Contrôle des eaux superficielles



Source: Beasy Nicoll Engineering Ltd., et H.J. Porter and Assoc. Ltd., 1977

CARTE 5.

Échelonnement des activités de décharge



Source: Beasy Nicoll Engineering Ltd., et H.J. Porter and Assoc. Ltd., 1977

'A landfill is as different from a dump as a horse is from an airplane!'

- Edmund Morris, October, 1977.

«Il y a autant de différence entre une décharge et un dépotoir qu'entre un cheval et un avion!»

Edmund Morris, octobre 1977

Méfiez-vous des cadeaux que vous font les Haligoniens! Un depotoir, même si on lui donne un autre nom, reste un depotoir!!

Bedford-Sackville News, 2 novembre 1977

ville étaient présents à l'emplacement. L'assise rocheuse ne révélait aucun signe de faille; lorsque la nappe est profonde de plus de 2 m, le mouvement de l'eau souterraine est extrêmement lent. Au début de l'aménagement de la décharge contrôlée, une partie de l'assise rocheuse de l'endroit a été utilisée comme matériau de revêtement pour les routes.

Des forêts de conifères et de feuillus, de densité moyenne, constituent la couverture végétale prédominante au voisinage de l'emplacement. Une petite superficie de terres a été préparée pour un lotissement le long de la route 1; il se fait un peu de coupe de bois à proximité. La zone de la décharge a été complètement déboisée depuis le début de son aménagement. Sur les photographies aériennes, prises en 1975 et 1981, on distingue nettement un type de végétation forestière. Cette couverture forestière constitue une zone tampon naturelle très efficace, qui a été maintenue intacte tout autour de l'emplacement (elle est représentée à la carte n° 3).

Avant l'aménagement, les eaux de ruissellement en surface s'écoulaient directement dans la rivière Sackville. Un système de fossés et de bermes a été aménagé pour diriger les eaux de surface dans les bassins de décantation sur l'empiacement même (voir la carte n° 4), où la majeure partie des matières solides en suspension se déposent.

Le niveau de la nappe phréatique se trouvait à la surface de la zone basse de tourbe, ou très près d'elle, et à 1 m de profondeur sous la surface, dans les drumlins. Les points de déversements initiaux se situaient soit dans la rivière Sackville, soit dans la zone de tourbe. La contamination des eaux souterraines était le souci majeur lors de l'aménagement de la décharge. Il fallut une quantité supplémentaire de till imperméable à texture fine pour réduire la migration et la percolation des contaminants. Un système de prélèvement des eaux d'infiltration fut installé pour les intercepter avant leur migration, et des bassins d'aération furent construits pour les traiter avant leur déversement dans le milieu environnant récepteur.

Les facteurs climatiques constituent un élément important de l'exploitation d'une décharge. Les difficultés d'exploitation connues à cet emplacement étaient dues à l'humidité, aux températures de gel, au cycle de gel-dégel, ainsi qu'au vent. Par exemple, il était plus difficile d'obtenir une couche de remblai bien tassé et bien uniforme lorsque les matériaux étaient gelés. Autre problème lié à l'utilisation de matériaux gelés: la teneur élevée en humidité de la couverture la fait glisser facilement vers le bas, et les pertes par érosion du sol peuvent être très importantes. Parfois, des pluies anormalement tièdes pendant les mois d'hiver font dégeler la surface du sol. Une humidité excessive risque également de gêner le déplacement des poids-lourds et autres véhicules lourds. Avant que les déchets ne soient recouverts, le vent peut entraîner des débris; les statistiques climatiques montrent que le vent est assez fort tout au long de l'année pour provoquer ce phénomène. La vitesse des vents est légèrement plus élevée en hiver.

Exploitation et gestion de la décharge

Comme mentionné précédemment, la décharge contrôlée de la route 101, dont la province est à la fois l'exploitant et le propriétaire, se trouve être gérée conjointement par les autorités de la région métropolitaine de Halifax-Dartmouth, et par la municipalité du comté de Halifax[3]. Les travaux à la décharge sont dirigés par un superviseur qui relève du directeur de la gestion des déchets, responsable de l'ensemble du système. Les autres composantes de ce système comprennent la station de transfert de Halifax, et le transport.

Les ordures d'origine domestique et commerciale sont amenées à la station de transfert, où elles sont tassées dans des camions fermés pour leur transport jusqu'à la décharge. Cette décharge devrait satisfaire aux besoins de la région pendant 12 ans, si on suppose que le volume traité passera de 195 500 t en 1978, à 319 100 t en 1990 (Beasy Nichol! Engineering Ltd. et H.J. Porter & Assoc. Ltd., 1977).

C'est la province qui a payé le terrain, les coûts d'aménagement et d'équipement de la décharge étant partagés à part égale par la province et le DREE. Le DREE a accordé son aide financière sous forme de subvention. La contribution provinciale était un prêt remboursable par la région métropolitaine sur une période de 5 ans. L'aide financière par les niveaux supérieurs de gouvernement était liée à l'obligation d'utiliser la décharge comme projet expérimental dont pour-

LANDFILL PETITION STARTS

Waste of prime land

Sackville landfill no solution--Barrett

United approach on landfill site urged

Sackville landfill project

"There go the people" – so Regan follows

DUMP..-THE VERY LATEST PLANS

Dump Fight Goes On

Residents seek meeting on Jack Lake site

rait profiter d'autres municipalités. Les frais d'exploitation du système de déchets solides sont couverts par les municipalités qui l'utilisent, et chacune d'elles paye proportionnellement à la quantité (en tonnes) de déchets solides qu'elle déverse. En 1981, le coût de l'élimination (immobilisation et frais d'exploitation) était de 9,70 $/t.

Exploitation de la décharge

Comme le montre la carte nº 3, environ 40 % de la surface totale de l'emplacement seront en fait utilisés pour l'élimination des déchets solides. Les courbes de niveau dans ce secteur s'élèveront de 25 m, et l'altitude finale au-dessus du niveau de la mer ne sera pas supérieure à 125 m. Une zone tampon, variant en largeur de 75 m au sud à au moins 125 m le long de la rivière, a été créée tout autour de l'emplacement. Cette zone permettra de protéger la qualité de l'eau de surface se déversant dans la rivière Sackville, et atténuera l'effet visuel dû à la décharge. Un centre administratif a été construit sur l'emplacement, avec des bureaux, des balances, ainsi qu'un atelier de réparation pour les équipements. Le reste de l'emplacement de la décharge est utilisé principalement pour les installations de traitement des eaux de ruissellement en surface et des eaux d'infiltration (percolat), ainsi que pour les voies d'accès.

Avant tout déversement de déchets, le terrain servant de décharge a été nettoyé pour être exploité comme zone de remblayage. Seront également aménagées des installations de mesure et de prélèvement pour les eaux de ruissellement de surface, les eaux d'infiltration, ainsi que le gaz méthane. Pour augmenter l'imperméabilité, la surface du sol sera nivelée et tassée, excepté dans la zone de tourbe. Une couche d'au moins 1 m de remblai sera déposée sur la tourbe et dans les endroits où l'assise rocheuse affleure ou presque. Des aires d'élimination spéciales pour l'hiver et les périodes humides sont préparées à l'avance.

Bien que la majeure partie des déchets soit transportée par des véhicules spéciaux (camions gros porteurs fermés) à partir de la station de transfert de Halifax, certaines entreprises

Photo 20. Remplissage des cellules, 30 juin 1981. Des cendres volantes de la centrale thermique de Tuft Cove sont déchargées; une autorisation spéciale du ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse a dû être obtenue à cet effet.
E. Kienholz, Direction générale des terres, Région atlantique

Photo 21. Décharge initiale à demi-remplie, 30 juin 1981. L'enfouissement de pneus a causé des problèmes particuliers aux exploitants.
E. Kienholz, Direction générale des terres, Région atlantique

industrielles et commerciales transportent parfois elles-mêmes leurs déchets jusqu'à la décharge. Chaque jour, les déchets solides sont tassés et recouverts de matériau de remblai, le tout constituant une couche unique.

La carte n° 5 montre à quel rythme les décharges se sont succédées. On a d'abord progressé le long d'une bande parallèle à la route 101, la bande de décharge ainsi constituée servant d'écran secondaire pour les activités futures. La couche supérieure de matériau de couverture aurait au moins 1 m d'épaisseur; suivrait une couche de sol arable étalée sur les matériaux précédents, le tout étant ensuite nivelé. Comme l'utilisation finale de l'emplacement n'a pas encore été déterminée, il a été impossible de planifier l'aménagement paysager des sections comblées de la décharge.

L'exploitation de la décharge suppose certaines mesures de sécurité. Des précautions ont été prises pour éviter les risques d'incendies et les combattre le cas échéant; l'accès de la décharge n'est possible qu'à certaines heures; l'accès au-delà du secteur administratif est généralement interdit au public; tout l'emplacement de la décharge est clôturé.

Protection de l'environnement

La protection des eaux de surface et des eaux souterraines constitue l'une des préoccupations majeures de l'exploitation et de la gestion d'une décharge. Comme mentionné précédemment, un système de bermes et de fossés de drainage dirige les eaux de ruissellement de surface vers des étangs de décantation. Un problème mineur a été celui de l'érosion des matériaux de couverture des pentes à nu de la première section de la décharge comblée. Cela a eu comme effet d'augmenter la charge de sédiments dans les bassins de décantation et de laisser le percolat suinter à partir des pentes les plus basses. Le problème n'a pas été jugé assez grave pour que l'on prenne des mesures correctrices, comme l'ensemencement, qui sera effectué après le nivellement final.

En réduisant la perméabilité de la décharge, et en appliquant quotidiennement une couche de matériaux de couverture, on évite partiellement la contamination des eaux souterraines, due à la migration de contaminants, y compris les produits de lessivage. De plus, les éléments suivants ont été aménagés: a) important système de drainage souterrain, en-dessous de l'aire de la décharge; b) drain de captage tout le long du périmètre en aval de la décharge, sous l'extrémité des pentes latérales; c) bassin séré à débit réglé; d) système de puits de surveillance répartis dans toute la décharge. La carte n° 6 montre le système de captage et de traitement du percolat.

Jusqu'au printemps de 1981, la quantité de percolat ne justifia pas la mise en service de l'installation de traitement. L'utilisation des bassins de traitement au printemps de 1981 montra que l'aération réduisait efficacement la demande biologique en oxygène du percolat. Si nécessaire, il aurait été possible de retourner par pulvérisation sur la décharge les produits de percolation. Cependant, il a surgi, depuis, un problème dû à ces produits. En mars 1983, la quantité de percolat était trop grande pour le système existant. On a donc décidé de mettre au point un nouveau système permettant d'empêcher la migration des produits.

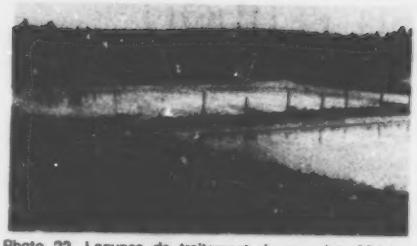


Photo 22. Lagunes de traitement du percolat, 30 juin 1981. Les bassins de traitement du percolat se situent au premier plan et les bassins de décantation, au second plan.
E. Kierholz, Direction générale des terres, Région atlantique

Il se peut que l'installation de traitement des produits de lessivage soit encore nécessaire quelque temps après la mise hors de service de la décharge, par contre, l'utilité des étangs de décantation pourrait diminuer rapidement une fois l'ensemencement et la revégétation entrepris. En 1982, 12 ha furent réensemencés, dont certaines zones de remblai et de couches finales. Un programme d'essais fut mis en oeuvre à la fin de 1977 et au début de 1978 pour recueillir des données de base sur les caractéristiques chimiques et bactériologiques des eaux de surface, des puits domestiques, et des puits de surveillance répartis dans la décharge. La comparaison des données obtenues avec les résultats d'analyses futures permettront de dire s'il y a eu contamination. De nouvelles analyses des puits de surveillance en 1979 ne révélèrent aucune contamination par le percolat[4]. D'autres analyses effectuées en 1982 par le ministère de la Santé de Nouvelle-Écosse ne révélèrent aucune contamination des puits d'eaux domestiques dans la région. Le programme de surveillance sera maintenu pendant et après la période d'exploitation de la décharge, aussi longtemps qu'il y aura du percolat en quantités non négligeables.

La décomposition des déchets solides entraîne la formation de méthane gazeux. Un système de captage du gaz a été installé à l'intérieur de la décharge et le long de son périmètre (carte n° 7). Un programme a été mis en oeuvre, qui devrait permettre d'utiliser le gaz pour chauffer les installations équipant la décharge. Le DREE et le ministère des Mines et de l'Énergie de Nouvelle-Écosse ont accordé une subvention à cette fin. Dans le cadre de ce programme, on a rendu étanche le dispositif périphérique d'interception des gaz, de façon à pouvoir utiliser ceux-ci sans pertes. Cependant, en mars 1983, la quantité de méthane générée ne suffisait pas pour produire la quantité de chaleur requise; mais, l'emplacement fait toujours l'objet de mesures de surveillance.

Les nuisances, comme certains animaux et les papiers épars, qui sont fréquentes dans les dépotoirs à ciel ouvert, ne constituent pas un problème grave du fait des mesures anti-pollution prises à cette décharge. Il est peu probable que des rongeurs s'installent dans la décharge en raison de la mise en place quotidienne des matériaux de couverture. Un programme d'extermination des rongeurs, comprenant l'installation de pièges, a été mis en oeuvre pour éliminer tous les rats pouvant pénétrer dans la décharge avec les déchets solides[5]. Les mouettes constituent plus ou moins une nuisance; elles sont attirées par la décharge qui leur offre nourriture, chaleur et abri. Ces oiseaux s'habituent très vite aux activités de la décharge, y compris à la présence d'équipement lourd. Pour diverses raisons, y compris les conditions météorologiques, les mouettes sont nombreuses sur les lieux de la décharge. On s'est aussi préoccupé du fait que des mouettes en aussi grand nombre risquent de polluer les sources d'approvisionnement en eau de surface du bassin de Pockwock. Un problème similaire a été signalé à Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick. Les conditions venteuses sur le site aggravent le problème des papiers épars, qui sont en grande partie arrêtés par les clôtures qui entourent l'emplacement et celles-ci sont nettoyées quand besoin est. Enfin, la mise en place quotidienne d'une couche de sol réduit la dispersion des papiers.

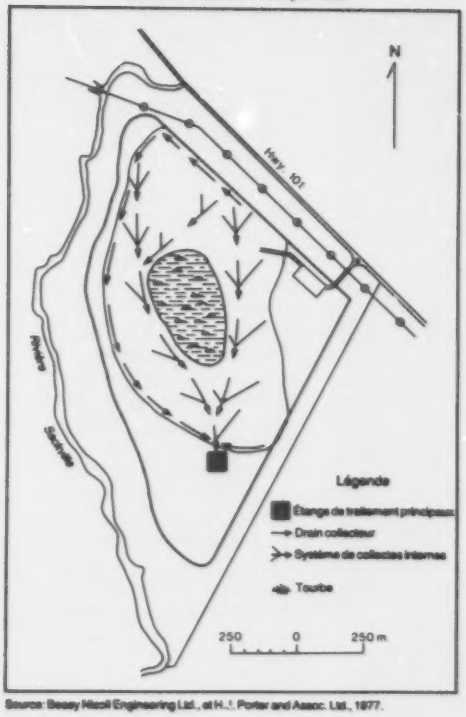
En raison de la quantité excessive d'humidité dans la zone de tourbe pendant le printemps et l'été de 1981, il a été difficile de recouvrir complètement les déchets chaque jour. On prévoyait remblayer cette zone le plus rapidement possible pour permettre le déplacement de l'équipement lourd, nécessaire à la couverture complète des déchets.

Utilisation des terres

Activités terrestres

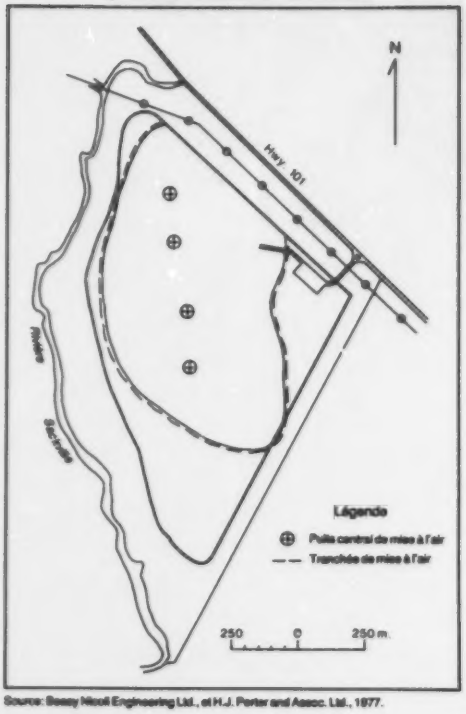
Un avantage important de la route 101 est son éloignement. Il s'agit d'une région à croissance relativement lente. Le développement se limite pratiquemment à quelques lotissements pour la construction de maisons le long de la route 1, et à des résidences secondaires (Springfield Lake). L'absence de développement est due en partie à l'éloignement de cette région des principaux centres urbains, ainsi qu'au zonage municipal qui empêche la pénétration urbaine à l'intérieur de la «zone verte» du comté de Halifax.

CARTE 6.
Collecte et traitement du percolat



Source: Beazy Nicoll Engineering Ltd., et H.J. Porter and Assoc. Ltd., 1977.

CARTE 7.
Système de mise à l'air libre du méthane



Source: Beazy Nicoll Engineering Ltd., et H.J. Porter and Assoc. Ltd., 1977.

Dans le cadre du plan de développement de la région métropolitaine de Halifax-Dartmouth, on a fait appel à plusieurs règlements pour restreindre la construction en bordure des villes et limiter les lotissements en zone rurale. Par exemple, à l'exception des zones désignées pour le développement urbain, ou des secteurs où le remblai est permis entre des quartiers d'habitations et des établissements commerciaux, administratifs, etc., aucun lotissement ne sera autorisé lorsque les lots ont moins de 2,02 ha de superficie. Les résidences secondaires d'été constituent une exception. À l'intérieur des villages ou des hameaux, le remblai est limité à 10 lots par année, quel que soit le développement résidentiel; chaque lot doit avoir au moins 1 350 m² et doit satisfaire aux règlements du ministère provincial de la Santé en ce qui concerne les fosses septiques, ou être relié à un système central d'approvisionnement en eau et à un réseau d'égout.

La route 101, construite au milieu des années 70, constitue un excellent moyen de communication entre la région métropolitaine et la zone de la décharge. Des lignes électriques suivent le tracé de la route. Il y a prédominance d'une zone forestière productrice, et il s'est fait de la coupe de bois d'oeuvre à proximité. Parmi les autres utilisations ou types de terres on peut citer: l'exploitation de carrières et l'extraction d'agrégats; des zones forestières non productrices; des marais; des pâturages à l'état brut; et des terres agricoles. Jusqu'en 1977, il ne semble pas que l'emplacement de la décharge actuelle ait été utilisé pour une quelconque activité[4]. Les photos montrent les changements d'utilisation des terres entre 1975 et 1981.

Utilisation future

Il reste encore à décider de l'utilisation finale qui sera faite de l'emplacement occupé par la décharge. Il semble probable que cet emplacement servira à des fins récréatives; la Lake District Recreation Association et la Chambre de commerce de Sackville y voient un futur terrain de golf. Autres utilisations possibles: centre de ski; aire récréative de jour. Il sera interdit de construire dans la zone de décharge proprement dite en raison du peu de stabilité des couches accumulées.

Propriétés et valeur foncières

Le terrain de l'emplacement a été acheté par la province de Nouvelle-Écosse en 1977. Une grande partie des terres limitrophes, au sud de la route 101, appartiennent actuellement sous forme de grandes parcelles, à deux compagnies privées (entreprise de construction et gravière). L'une de ces compagnies était antérieurement propriétaire de tout le terrain occupé par la décharge. Le long de la route 1, ce sont des particuliers qui possèdent la plupart des terres, sous forme de petites parcelles.

Les renseignements fournis par la Division de l'évaluation, du ministère des Affaires municipales de la Nouvelle-Écosse (L. Croucher, communication personnelle, 1981), montrent que la valeur des biens immobiliers de ce secteur n'a pas été sensiblement modifiée par la présence de la décharge. En fait, la valeur des terres est demeurée faible parce que la municipalité décourage tout développement urbain et limite la fourniture de services. Avant 1977, les ventes de terrains ont été si peu nombreuses qu'il est difficile de déterminer leur valeur moyenne. Excepté la vente de quelques petits lots résidentiels, cette activité commerciale se limitait aux terres forestières. La région n'offre pas beaucoup d'intérêt, excepté les ressources forestières, et la présence d'une décharge n'a pratiquement eu aucun effet sur les transactions de ce type.

Les décharges contrôlées et l'opinion publique

On peut facilement constater par la description du processus de choix d'un emplacement que les

Photo 23. Mosaïque - Site de la décharge contrôlée sur la route 101, 1974. En 1974, le développement était peu important, avec quelques maisons le long de la route 1.
Service de gestion des ressources maritimes, 1974, Amherst, Nouvelle-Écosse

décharges contrôlées ne sont généralement pas vues d'un bon oeil par le public lorsqu'elles sont aménagées à proximité des zones résidentielles. On peut s'attendre à de nombreux conflits lorsque l'emplacement proposé pour une décharge est proche d'une zone habitée, comme c'était le cas des emplacements de Beaverbank-Windsor Junction et de Jack Lake. Les opinions et les préoccupations du public s'exprimaient souvent et avec force dans des articles et des lettres publiés dans les journaux locaux. Cette opposition peut être attribuée à la combinaison de plusieurs facteurs: a) état déplorable des dépotoirs existants et, par association, crainte de retrouver les mêmes conditions avec la venue de la décharge contrôlée; b) le vaste programme d'information mis en oeuvre à l'intention du public ne suffit pas à dissiper les préoccupations locales; c) il existait des données techniques détaillées dans le cas de la décharge de Beaverbank-Windsor Junction, mais non dans celui de Jack Lake (en présence d'une opposition très forte, les considérations politiques prenaient le pas sur les déficiences techniques ou environnementales mais celles-ci auraient pu être atténuées par l'apport de fonds supplémentaires); enfin, peut-être le facteur le plus important, d) les petites communautés de Bedford et de Sackville avaient l'impression que les villes de Halifax et de Dartmouth profitaient d'elles.

Étant donné que la question prenait une tournure très émotive, les considérations sociales et politiques ont joué un rôle très important dans le choix final de l'emplacement. Pour s'assurer que les normes environnementales seraient respectées à la décharge de la route 101, des sommes considérables furent consacrées à l'amélioration des caractéristiques physiques et à l'aménagement de l'endroit. L'éloignement augmenta encore le coût total d'exploitation de l'ensemble du système d'élimination des déchets.

Résumé et conclusion

La décharge de la route 101, qui sert maintenant de modèle à d'autres municipalités, est entrée en service à la fin de 1977, après cinq ans de vives controverses au sujet du choix d'un emplacement approprié pour répondre aux besoins d'élimination de déchets de la région Halifax-Dartmouth. Le choix d'un emplacement relativement éloigné a apaisé l'opposition du public, mais a augmenté les frais globaux d'exploitation du système. Comme les caractéristiques physiques de cet emplacement étaient moins bonnes que celles des deux emplacements envisagés précédemment, il y eut des dépenses supplémentaires au début de l'aménagement de la décharge, et ensuite, en permanence, pendant son exploitation. Les considérations environnementales, comme la contamination possible de la rivière Sackville et du bassin hydrographique Pockwock voisin, par le percolat ou le ruissellement de surface jouèrent en fait un rôle moindre dans le choix de l'emplacement. On était davantage préoccupé par l'absence ou la présence de drumlins, qui devaient servir de matériaux de couverture. La décision fut d'ordre politique, prise à un moment où on était au bord de la crise du fait de l'insuffisance des systèmes existants, qui ne pouvaient répondre aux besoins d'élimination des déchets de la région de Halifax-Dartmouth.

L'exploitation de la décharge de la route 101 a entraîné quelques problèmes d'ordre environnemental et esthétique. Parmi les difficultés rencontrées, on peut citer les suivantes: a) aménagement des bassins de traitement du percolat; b) érosion du sol sur les pentes à nu avec, comme conséquence, le suintement du percolat à partir des pentes latérales; c) déplacement difficile de l'équipement lourd dans les zones humides; d) mise au rebut de pneus; e) problème d'éloignement des mouettes. Cependant, le dispositif d'interception du méthane, installé sur place, semble avoir minimisé les problèmes environnementaux associés aux gaz. De plus, la mise en place quotidienne de matériaux de couverture sur la couche de déchets a permis de limiter les nuisances dues aux papiers éparpillés, aux animaux et aux odeurs.

Si on excepte la décharge elle-même, on peut affirmer que l'utilisation et la valeur des terres, ainsi que le type de propriété foncière, n'ont pratiquemment pas été modifiés par suite de l'exploitation de la décharge. La région où est

Photo 24. Mosaïque - Site de la décharge contrôlée sur la route 101. Les aires de dépôt et de traitement des ordures ont complètement été dégagées depuis 1974 et une voie d'accès a été construite de la route 101 jusqu'à la zone d'administration. Une ligne de transport de l'énergie électrique suit plus ou moins parallèlement la route 101. Le nombre de maisons le long de la route 1 s'est légèrement accru. Des arbres ont été coupés au sud-est du site.
Service de gestion des ressources maritimes, 1981, Amherst, Nouvelle-Écosse

située la décharge n'avait connu qu'une croissance très lente avant 1977, et il n'y a pratiquement pas eu de changement depuis cette date.

Notes

1 En 1973, le Metropolitan Area Planning Committee devint la Metropolitan Area Planning Commission.

2 La majeure partie des déchets de Halifax-Dartmouth sont ramassés, transportés à la décharge, et enfouis par des travailleurs syndiqués; une grève pourrait entraîner des problèmes d'hygiène, et ceux-ci s'ajouteraient à des problèmes d'odeur, de déchets éparpillés, et de présence d'animaux nuisibles.

3 Avant 1978, la Metropolitan Authority s'appelait Halifax-Dartmouth Regional Authority.

4 Au moment de la rédaction de ce document (août 1981), il n'y avait pas d'autres résultats d'analyses, mais le ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse envisageait d'effectuer des analyses pendant l'été.

5 Depuis sa mise en service en 1977, un seul rat a été vu à la décharge; aucun rat n'a été repéré à la station de transfert, où des pièges ont été posés.

6 La cartographie de l'utilisation des terres a été effectuée par la Direction des terres, dans le cadre du programme de surveillance de l'utilisation des terres au Canada, à l'aide de photographies de 1976.

GESTION DES DÉCHETS DANS LE NORD DU CANADA

Introduction

Ces dernières années, de vives inquiétudes se sont manifestées au sujet des contraintes exercées par l'homme sur l'environnement arctique. Même une traversée très rapide du nord canadien permet de repérer les traces, parfois vieilles de 40 ans, laissées par l'homme, ainsi que des monceaux de déchets abandonnés. Dans les régions au climat plus tempéré, la plupart des traces laissées par l'activité et les habitudes de l'homme disparaissent avec le temps sous l'effet des forces naturelles; mais, l'échelle du temps n'est pas la même dans le nord. Cela est particulièrement vrai pour l'élimination des déchets, problème qui existe depuis des décennies. Même si la situation s'est améliorée récemment, l'enfouissement des déchets dans des décharges contrôlées, comme on le pratique dans le Canada méridional, n'existe pas dans le nord pour des raisons économiques, climatiques, pédologiques et géologiques.

Les méthodes d'élimination des déchets dans le nord varient en fonction des éléments suivants: nature du pergélisol; températures annuelles; matériaux de couverture disponibles; services et transport. Il n'existe aucune décharge contrôlée dans le nord, car les longues périodes de froid rendent pratiquement impossible le déplacement de la terre; le sol, comme matériau de couverture quotidienne, est rarement disponible et, dans certaines régions, la terre est gelée en permanence. De plus, le ramassage et le transport des déchets jusqu'à des endroits désignés sont souvent difficiles et coûteux.

Selon la définition qu'on lui donne, le «nord canadien» peut représenter plus d'un tiers de la superficie totale du Canada, avec seulement 0,5 % de la population du pays. Ces deux faits, combinés aux conditions climatiques les plus dures au Canada, constituent des obstacles majeurs à l'élimination des déchets.

Lorsqu'on songe que plus de 55 % des Canadiens vivent dans le corridor reliant Windsor et la ville de Québec, qui représente 2 % de la superficie du pays, il n'est pas surprenant que peu de Canadiens soient sensibilisés aux problèmes d'une région aussi éloignée, et même un peu inaccessible pour eux (Simpson-Lewis *et al.*, 1979). Les concepts de vie sociale, culturelle et technologique, qui apparaissent comme normaux pour les Canadiens du sud, ne sont géné-

CARTE 8.
Étendue du pergélisol dans le Nord canadien

Adaptée de Permafrost in Canada, carte 1248A, Première édition, 1969, Commission géologique du Canada, Énergie, Mines et Ressources et Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada.

ralement pas valables dans le nord. Il est donc essentiel de comprendre qu'il existe des facteurs qui singularisent le nord avant d'évaluer ou de juger les questions relatives à l'élimination des déchets.

Définition du Nord

Les limites géographiques et climatiques ne correspondent pas aux frontières politiques. Les entités politiques du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest sont généralement considérées comme étant le nord, mais il ne s'agit là que de divisions administratives. Certains géographes considèrent que le nord canadien est la région du pays qui s'étend au nord de la limite de végétation arborescente. D'autres définissent le nord comme étant la zone où se trouve le pergélisol. Il se trouve que la région située au nord de la limite de végétation arborescente coïncide plus ou moins avec la zone de pergélisol. Au sud de cette zone se trouve une région où le sol n'est que partiellement gelé; il s'agit de la zone de pergélisol discontinu (Brown, 1969). En fait, à la limite méridionale de cette dernière zone, le pergélisol ne subsiste parfois que dans des poches éparpillées, de quelques mètres carrés ou quelques hectares de superficie, et souvent dans certains types de terrains seulement. Vu les conditions climatiques, culturelles et démographiques, et les difficultés communes rencontrées avec le pergélisol, le nord canadien est considéré ici comme étant la zone comprenant les deux types de pergélisol (carte n° 8). Ainsi, le nord englobe le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest, ainsi que les parties septentrionales de chaque province, excepté les provinces Maritimes et Terre-Neuve. C'est une vaste région qui s'étend sur plus de 4 700 km d'ouest en est, soit de la frontière Yukon-Alaska jusqu'à la côte orientale du Labrador et sur au moins 3 500 km du nord au sud, à partir de l'extrémité septentrionale de l'Île Ellesmere jusqu'à The Pas, au Manitoba.

Peuplement du Nord par l'homme

Longtemps avant la découverte de l'Amérique du Nord par les Européens, ce pays était habité par des Asiatiques qui avaient passé de Sibérie en Alaska par un isthme, formé durant la dernière glaciation. Des fouilles archéologiques laissent supposer que l'homme occupe le Yukon depuis 27 000 ans. D'autres découvertes tendraient à prouver l'existence, il y a 12 000 à 8 000 ans, de trois cultures en Alaska, dont les descendants forment aujourd'hui les civilisations inuites et indiennes (Laughlin, 1975; Schledermann, 1981).

Les tribus indiennes peuplèrent tout le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest, et leurs descendants devinrent des métis par mariage avec les colons européens qui arrivèrent beaucoup plus tard. On pense que les autres Indiens d'Amérique du Nord descendent eux aussi d'Asiatiques qui étaient passés par l'isthme de Béring.

À partir de l'Alaska, les Inuit se déplacèrent vers l'est, et ils auraient atteint l'Île Ellesmere il y a 4 500 à 4 300 ans. Les Indiens et les Inuit étaient des chasseurs d'animaux terrestres, mais seuls les Inuit pêchaient en haute mer (la baleine par exemple). Aujourd'hui, une ligne allant de Churchill au Manitoba à Old Crow dans le Yukon sépare grossièrement les communautés indiennes de l'ouest des Inuit à l'est.

Excepté quelques rares rencontres avec des explorateurs, les Indiens et les Inuit n'établirent de réels contacts avec les Européens que vers le milieu du XIX^{e} siècle. Dans le Yukon, des postes de traite de la Baie d'Hudson apparurent pendant cette période pour le commerce des fourrures. Vers la fin du siècle, des baleiniers venaient pêcher dans la mer de Beaufort. La pêche à la baleine et la trappe d'animaux à fourrures permirent à l'économie de prospérer jusqu'après la Deuxième Guerre mondiale. Un grand nombre de chercheurs d'or envahirent la région de 1870 à 1900 environ. Cela permit de développer des réseaux de communication et de transport des marchandises, et de fonder des centres habités permanents dont plusieurs étaient et demeurent encore associés à l'extraction de minéraux et d'autres ressources naturelles.

Dans la région qui correspond aux Territoires du Nord-Ouest actuels, Inuit et Indiens vivaient en nomades, en suivant dans leur migration les animaux qu'ils chassaient. Pendant la dernière moitié du XIX^{e} siècle, des postes de traite des fourrures apparurent dans la vallée du Mackenzie, suivis par d'autres dans les régions arctiques orientales durant les 30 premières années du XX^{e} siècle (Lysyk, 1977; Berger, 1977*a*, 1977*b*).

En 1934, on découvrit de l'or sur les côtes de la Baie de Yellowknife, près de l'endroit où se trouve maintenant la ville de Yellowknife. Cette découverte attira des chercheurs qui vinrent du sud du pays; de grands efforts furent déployés pour l'exploration et l'extraction des ressources naturelles, activités qui se poursuivent encore de nos jours.

Les missions, la GRC et la compagnie de la Baie d'Hudson devinrent les principaux administrateurs de la région jusqu'à la fin des années 1940 et le début des années 1950. Les Inuit et les Indiens s'habituèrent peu à peu aux postes de traite, et commencèrent à établir des campements à proximité; pendant les périodes où il n'y avait ni chasse ni pêche, ces campements leur servaient de base pour leurs activités. De cette façon aussi, ils purent profiter des services d'éducation et de santé; enfin, lorsque les divers organismes gouvernementaux leur offrirent des maisons préfabriquées, les campements se transformèrent en centres habités permanents.

Les populations autochtones des parties septentrionales des provinces de l'ouest et de l'Ontario sont surtout constituées d'Indiens et de Métis. Il y a des Inuit dans le nord du Québec. Ils ont eu à faire face aux mêmes problèmes que leurs voisins du nord, et ont connu les mêmes conflits culturels avec l'introduction d'un mode de vie différent par des communautés non autochtones, établies dans le voisinage.

Élimination des déchets

Pour de petites bandes de nomades, l'élimination des déchets ne constitue pas un problème du fait que les campements sont souvent abandonnés avant que la masse de déchets ne devienne excessive, ou ne puisse plus être éliminée. Un mode de vie auto-suffisant suppose généralement l'utilisation de tous les produits dont on dispose, y compris la peau, les os, etc., que les sociétés ordinaires rejettent habituellement.

L'élimination des déchets dans le nord ne devint un problème qu'à partir du moment où des gens arrivèrent d'ailleurs en apportant leurs approvisionnements et leur mode de vie. Le problème se compliqua avec la sédentarisation des autochtones. Les Indiens et les Inuit ont dû s'adapter à un nouveau mode de vie, avec des techniques et des concepts qui ne leur étaient pas familiers. La médecine constitue un très bon exemple de ce changement. Certains principes d'hygiène et de santé, ancrés depuis longtemps dans les moeurs des peuples du sud, apparaissaient aux yeux des autochtones comme des éléments tout à fait nouveaux. Ces vingt dernières années, un grand pas en avant a été accompli. Cependant, dans certains domaines, et particulièrement dans celui du traitement des déchets humains et de l'élimination des déchets solides, les habitudes du passé demeurent encore assez fortes.

Gestion des déchets dans les Territoires du Nord-Ouest

D'énormes obstacles environnementaux doivent être surmontés, à grands frais, pour approvisionner en eau potable et équiper de réseaux d'égouts des communautés éloignées, où tout est gelé pendant 7 à 10 mois par année. Cela signi-

Photo 25. Sur ce dépotoir du Nord, les déchets et les sacs d'excréments sont jetés ensemble.
R.C. MacKenzie © Image Communicators, Edmonton (Alberta)

CARTE 9.

Localités choisies des Territoires du Nord-Ouest

Carte de base fournie par Énergie, Mines et Ressources.

fie que, dans beaucoup de communautés, on utilise encore des «tinettes» pour satisfaire les besoins naturels. De grands sacs en plastique, appelés ici «sacs à tinettes» servent à recueillir et à transporter les déchets jusqu'à un dépotoir qui est souvent utilisé pour toutes les autres ordures. Il n'est pas toujours facile d'arriver jusqu'à ce dépotoir, surtout lorsque la neige atteint le toit des maisons, comme c'est souvent le cas dans le District de Keewatin (carte n° 9). Au cours des années, des bassins d'eaux usées et des systèmes de pompage ont peu à peu remplacé les «sacs à tinettes», mais un nombre assez élevé de collectivités ne disposant pas des fonds nécessaires pour se moderniser, utilisent encore les vieilles méthodes.

Dans les Territoires du Nord-Ouest, l'élimination des déchets solides doit être étudiée en même temps que l'élimination des déchets en sacs, car les deux types de déchets sont souvent déversés ensemble dans les dépotoirs. Les bactéries présentes dans les deux types de déchets peuvent survivre très longtemps dans les conditions climatiques arctiques (Alter, 1972). Ainsi, si les déchets arrivent en contact avec les eaux de surface ou avec l'homme, il peut y avoir contamination et propagation de maladies. Cela est particulièrement vrai pour les maladies entériques ou intestinales, communes dans les régions arctiques, et dans d'autres endroits où les conditions hygiéniques sont loin d'être bonnes, parfois en raison d'une population trop nombreuse. La contamination peut se produire après des déversements accidentels ou des fuites dans les «sacs à tinettes». En présence de pergélisol, il n'y a pas percolation des liquides dans le sol, même si la température de l'air est au-dessous du niveau de congélation. Par temps chaud, la forte teneur en humidité du pergélisol provoque un engorgement, ce qui complique encore le problème.

Des études effectuées en Alaska révèlent que le coliforme fécal a une période de survie très longue; les analyses dans une rivière de l'Alaska en février donnent des périodes de survie de 3 à 5 fois plus longues que dans des climats plus tempérés (EPA, États-Unis, 1972). De même, les déchets solides ne sont pratiquement pas décomposés dans les régions arctiques, ce qui a amené certains chercheurs à proposer l'incinération et non la décharge des déchets putrescibles. Les déchets abandonnés dans une fosse ouverte ou sur le sol sont peu à peu entraînés par le vent, et servent de nourriture aux oiseaux, aux animaux domestiques ou sauvages, etc. (Straughn, 1972; Cohen, 1973; Fair, s.d.). Il est donc recommandé de recouvrir les déchets avec de la terre ou de la neige, même s'il est admis

que la décomposition bactérienne ne sera pas facilitée par la mise en place de matériaux de couverture, contrairement à ce qui se passe dans les climats plus chauds. Dans beaucoup de collectivités arctiques, les roches et le gravier sont les seuls matériaux de couverture accessibles. Dans ces conditions, il serait tentant de brûler les déchets à l'air libre dans «certaines conditions». Il faut, par exemple, brûler les déchets pendant des périodes où il n'y a pas d'inversion de température; le dépotoir doit être situé du côté sous le vent par rapport au village; enfin, il faut s'assurer de la présence d'un coupe-feu efficace lorsqu'il y a des arbres à proximité.

Dans les collectivités où on utilise encore des «sacs à tinettes» pour les déchets humains, il devrait y avoir de fréquents ramassages. Un service de ramassage est généralement fourni à raison de cinq ramassages par semaine, ce qui évite deux jours consécutifs sans ramassage. Au dépotoir, ces sacs devraient être de préférence déversés dans des fosses ou dans des aires séparées des sections de déversement des déchets solides.

Les communautés isolées dont les ressources économiques sont faibles comptent sur le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest pour subvenir aux coûts de la fourniture de services municipaux. Comparativement à des services semblables dans le sud, le coût du ramassage des déchets solides peut être sensiblement plus élevé pour les raisons qui suivent. Un temps très froid peut empêcher le ramassage, car les sacs d'ordures sont alors gelés au sol avec leur contenu. Les bancs de neige peuvent bloquer l'accès aux maisons et au lieu de déversement. L'équipement mécanique risque d'être paralysé pendant très longtemps, jusqu'à ce que les pièces de rechange arrivent et que les réparations soient faites. Par contre, le ramassage des déchets donne du travail et crée des emplois. Là où il existe des services de ramassage, celui-ci est effectué par des véhicules de transport allant de remorques ouvertes, utilisées dans certains centres très éloignés, au classique camion de ramassage à ordures dans les grands centres.

Autrefois, beaucoup de gens brûlaient leurs déchets dans des tonneaux placés sur le terrain devant leur maison. Cette pratique existe encore dans certains villages, mais on encourage maintenant les gens à faire brûler leurs déchets au lieu de décharge, mais, malheureusement, les conditions climatiques rigoureuses les en empêchent souvent.

Au cours des années, les systèmes de gestion des déchets se sont sensiblement améliorés (gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, 1981). Par exemple, dans la ville de Yellowknife, qui compte une population d'environ 10 000 habitants, le service de ramassage des déchets se fait à l'aide de camions à benne tasseuse. Les déchets sont déversés dans un lieu de décharge, où ils sont recouverts de sol une fois par semaine. À l'exception d'une vingtaine d'entre elles, toutes les maisons de la ville sont reliées à un égout ou disposent d'un service de pompage. Pour les maisons non équipées, une machine installée au lieu de déversement permet de sectionner les sacs, exposant ainsi leur contenu à l'atmosphère et, en particulier, à la lumière solaire pour faciliter la décomposition. D'autres centres utilisent ce procédé, et il a été proposé ailleurs.

Photo 26. Ces barils dans une cour à Inuvik servent à brûler les ordures.
R.C. MacKenzie © Image Communicators, Edmonton (Alberta)

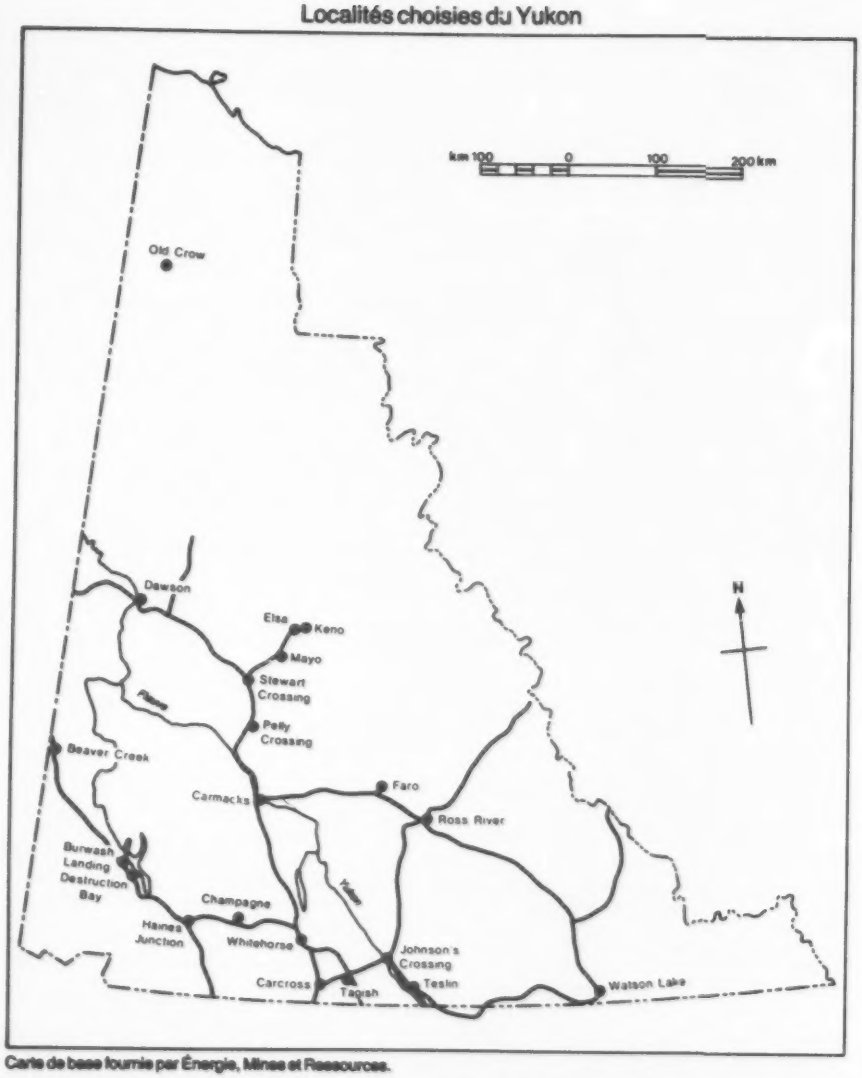
Hay River, avec une population d'environ 3 400 habitants, utilise une technique de tranchée profonde pour l'élimination des ordures. Lorsqu'elle est pleine, la tranchée est recouverte de sol. Ce procédé, parfois avec des variations mineures, est utilisé dans d'autres centres des régions méridionales des Territoires du Nord-Ouest.

Inuvik, avec une population d'environ 3 000 habitants, doit se limiter au déversement à la surface du sol, en brûlant les déchets pour prolonger la durée de vie du dépotoir. Des essais de broyage des déchets furent conduits à Inuvik vers le milieu des années 70 (Forgie, 1976).

Photo 27. Barils de pétrole laissés sur le dépotoir de Baker Lake.
E. Wilson, Environnement Canada

CARTE 10.

Localités choisies du Yukon



Carte de base fournie par Énergie, Mines et Ressources.

Comme on pouvait le prévoir, il y eut des problèmes de fonctionnement de l'équipement, mais ces difficultés n'étaient pas insurmontables et le broyage dans les conditions du climat arctique est donc possible. De plus, les déchets broyés se décomposaient plus facilement, comme l'attestent les mesures effectuées, même lorsqu'ils étaient déversés sur le pergélisol.

Dans d'autres collectivités arctiques de l'ouest et du centre, comme à Tuktoyaktuk et à Coppermine, on utilise un lieu de déversement à la surface du sol où sont déchargées les ordures ensachées ou non. Les déchets sont brûlés au même endroit, ou encore dans des tonneaux devant les maisons.

À Baker Lake, dans le district de Keewatin, où l'hiver est très rigoureux avec des blizzards fréquents, la technique proposée de mise en balles, sous abri, des déchets n'a pas été retenue, principalement en raison du coût élevé et de la complexité de l'opération (Stanley Associates Engineering Ltd., 1974).

Frobisher Bay, avec une population d'environ 2 700 habitants, se trouve sur un affleurement rocheux. La ville a connu toute une série de dépotoirs à ordures, dont aucun ne fut utilisé très longtemps; celui qui est en service actuellement est qualifié de «temporaire». L'incinération des déchets a été proposée pour des collectivités de cette région, y compris Pangnirtung, où un projet d'utilisation d'un incinérateur à débit d'air variable, a été suspendu jusqu'à ce qu'on obtienne des renseignements plus complets sur le rendement et le fonctionnement de ces appareils. Il est possible de construire un incinérateur à débit d'air variable, capable de brûler aussi bien des déchets solides que des déchets d'égout, comme l'a montré une étude de 1978 d'Environnement Canada (Zaloum *et al.*, 1978), mais le coût de fonctionnement ($/tonne) serait probablement trop élevé en raison du petit volume de déchets générés par de petites collectivités, et l'appareil serait sous-utilisé.

Resolute, sur l'île Cornwallis, a été conçue comme une agglomération arctique modèle, et on y a adapté certaines des plus récentes techniques pour climats froids. Des déchets solides, ramassés dans des tonneaux à l'extérieur des maisons, sont transportés jusqu'à une remorque centrale d'entreposage. Lorsqu'elle est pleine, on l'amène jusqu'à la décharge où on la vide. Des graviers et des roches constituent les seuls matériaux de couverture disponibles dans le voisinage.

Depuis 1957, le seul contrôle des déchets dans les Territoires du Nord-Ouest se fait selon les General Sanitation & Public Sewerage Systems Regulations (réglementation sur l'hygiène et les réseaux d'égouts publics), conformément à la Public Health Ordinance (Ordonnance sur la santé publique). Cette réglementation est complétée par des guides pratiques, élaborés par le Département du gouvernement local des Territoires du Nord-Ouest pour promouvoir des normes de fonctionnement éclairées. En plus des changements fonctionnels mentionnés, les Codes favoriseront l'aménagement d'aires de stockage séparées pour les matériaux récupérables, comme les métaux. Il s'agit là d'un problème particulièrement ennuyeux car les matériaux expédiés vers les Territoires du Nord-Ouest (et le Yukon) restent généralement sur place. Des machines, des barils et des véhicules abandonnés ne se retrouvent pas seulement dans des agglomérations, mais également à des bases militaires, et sur des chantiers d'exploration minière. Dans la partie ouest de l'Arctique, il existe maintenant la possibilité d'entasser des déchets volumineux, puis d'en transporter une partie par la route Dempster. Un certain nombre de compagnies d'exploration et de construction se servent maintenant d'incinérateurs mobiles, en évitant de plus en plus de déverser leurs déchets à même le sol, comme c'était pratique courante par le passé.

Gestion des déchets dans le Yukon

Les traces de deux grands projets de construction sont encore visibles au Yukon. Pour éviter l'isolement et écarter le risque d'invasion de l'Alaska par le Japon pendant la Deuxième Guerre mondiale, on construisit la route Canol et un pipeline pour relier le sud du Yukon à la raffinerie d'Imperial Oil à Norman Wells dans

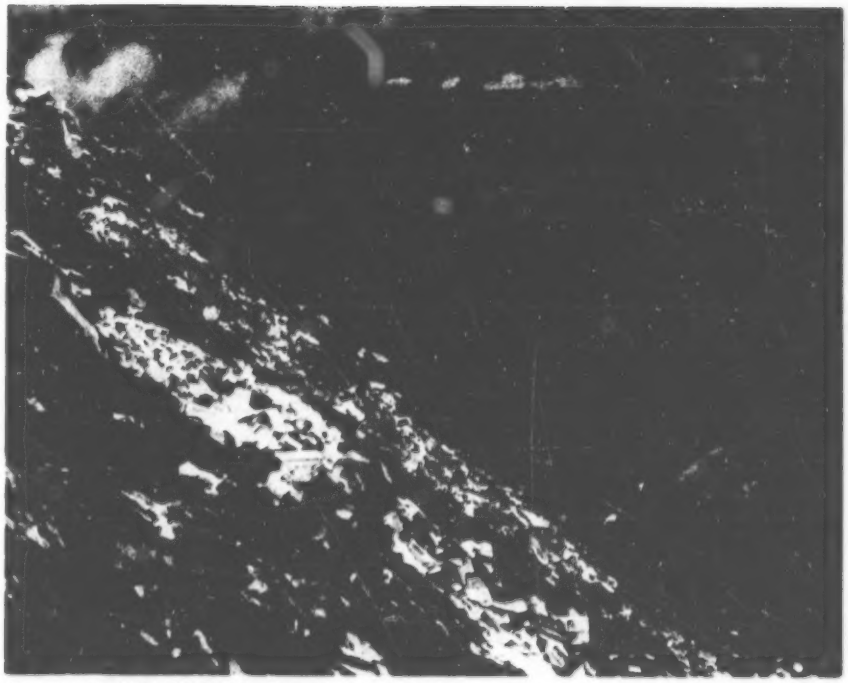


Photo 28. Près de Whitehorse en 1968, les déchets qui étaient jetés par-dessus le bord de ce dépotoir tombaient dans le fleuve Yukon en-dessous.
Transports Canada

Photo 29. Le même dépotoir près de Whitehorse, en 1982, a été considérablement amélioré grâce à l'application d'une couche de terre.
R.C. MacKenzie @ Image Communicators, Edmonton (Alberta)

les Territoires du Nord-Ouest. Simultanément, on construisit la route de l'Alaska à partir de Dawson Creek, en Colombie-Britannique, jusqu'à Fairbanks, en Alaska. L'équipement de construction ayant servi aux deux projets, et souvent encore en bon état, fut abandonné dans le Yukon. Furent également abandonnés des véhicules militaires, des barils pour le carburant, des avions, et diverses fournitures. Le Canol Pipeline a été enlevé et vendu à la ferraille il y a quelques années; les restes de camps de travail abandonnés, de dépôts d'approvisionnements et de stations de pompage le long de la route ont été transportés jusqu'à des aires de stockage centrales.

Ces restes sont devenus des attractions touristiques, particulièrement pour les gens qui s'intéressent à l'aspect historique des routes et des pipelines. Beaucoup de tentatives ont été faites pour débarrasser le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest de leurs débris métalliques, mais toutes ont échoué en raison du coût élevé de transport. Même dans le sud, les métaux usés ne peuvent être transportés très loin, car le coût du transport risque alors d'être supérieur à la valeur de revente de ces métaux. Néanmoins, divers organismes gouvernementaux ont mis en oeuvre des programmes de broyage de barils, grâce à des broyeurs mobiles servant à comprimer les barils utilisés antérieurement pour le carburant, avant d'enfouir les éléments ainsi obtenus ou de les transporter jusqu'à des aires de stockage centrales. On tente maintenant de procéder de la même façon pour tous les déchets volumineux, en les entassant provisoirement.

Dans tout le Yukon, même s'il n'existe pas de décharge contrôlée avec, chaque jour, compactage et mise en place d'une couverture de terre, le traitement des déchets et les pratiques d'élimination se sont sans cesse améliorés ces dernières années. À Old Crow, le pergélisol est présent de façon permanente (carte n° 10); ailleurs, la plupart des agglomérations utilisent les techniques d'élimination en tranchée, même s'il existe du pergélisol discontinu à certains endroits. De plus, le degré de traitement des eaux usées et les services d'élimination sont supérieurs à ceux que l'on trouve dans les Territoires du Nord-Ouest; on a éliminé le problème causé par l'élimination simultanée des déchets ensachés et des autres ordures.

À la suite de la publication en 1978 d'un rapport officiel sur l'élimination des déchets, divers organismes du gouvernement du Yukon et du gouvernement fédéral s'entendirent pour une politique de gestion des déchets solides, qui fut mise en oeuvre en 1981. On recherche un mode de fonctionnement normalisé, avec l'élaboration de plans d'aménagement et d'amélioration pour tous les lieux d'élimination, ainsi que la mise hors de service de certaines décharges mal situées.

L'ancien dépotoir de Whitehorse, en service depuis les années 1940, était l'un des endroits les plus etonnants au Canada, car les déchets étaient poussés par-dessus une berge élevée et tombaient parfois dans le Yukon. Ce lieu fait actuellement l'objet de travaux de remise en état pour améliorer son apparence et minimiser la contamination de la rivière. La ville, avec une population d'environ 16 000 habitants, utilise maintenant pour l'élimination de ses déchets une mine à ciel ouvert abandonnée.

Une berge-dépotoir était également utilisée à Watson Lake depuis de nombreuses années, et là aussi il y a eu des travaux de réaménagement. Aujourd'hui, au même endroit, c'est la technique de déversement en tranchée qui est appliquée. Il est aussi permis de brûler les déchets à ciel ouvert. Parfois, les déchets sont tassés et recouverts lorsque la tranchée est remplie. Les déchets volumineux sont déversés dans une aire séparée. Cette façon de procéder est assez fréquente au Yukon. Étant donné que le territoire est fortement boisé et que les précipitations sont faibles, des précautions spéciales doivent être prises pour empêcher les feux de forêts causés par la combustion des déchets à ciel ouvert. Les visites impromptues de la faune (ours) représentent un risque, qui est néanmoins considéré comme accceptable en attendant que des techniques plus avancées soient introduites.

Comme dans les Territoires du Nord-Ouest, un certain contrôle est assuré dans le cadre des Rubbish Disposal Regulations de 1962 (réglementation sur l'élimination des déchets), de la Public Health Ordinance (Ordonnance sur la santé publique). Certaines collectivités assurent ce contrôle par l'intermédiaire des règlements municipaux.

Gestion des déchets ailleurs dans le nord

Les villages isolés des parties septentrionales des provinces éprouvent généralement des difficultés de gestion des déchets, comparables à celles existant dans le sud des deux territoires, les raisons financières, géologiques et sociales étant comparables. Les réserves indiennes des îles et districts lacustres de la Saskatchewan, du Manitoba et de l'Ontario, ne disposent que des terres de ces îles. Leurs traditions et leur mode de vie, liés à la chasse et à la pêche, ne font pas grand cas de l'élimination des déchets. Souvent, l'arrière-cour des maisons se transforme en lieu de déversement.

Le fait que la faune, et particulièrement les ours, sont attirés par les ordures est une source permanente de problèmes. Le cas des ours polaires fouillant dans le dépotoir de Churchill est bien connu. Cependant, même sans le dépotoir, les ours représenteraient une nuisance pour Churchill qui est situé sur leur route migratoire.

Résumé

Il est urgent d'améliorer les méthodes d'élimination des déchets dans le nord. Le climat rude, les caractéristiques physiographiques irrégulières, ainsi que l'éloignement et la dispersion des agglomérations dont les habitants dépendent des gouvernements centraux pour leurs services publics, se combinent pour créer des conditions dans lesquelles il est particulièrement difficile d'assurer une bonne gestion des déchets.

Ce texte a été revu en anglais par K.A. Childs, Direction des services techniques, Service de la protection de l'Environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario).

Chaque province a revu sa contribution au document, pour vérifier l'exactitude des renseignements présentés.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier pour leur contribution les nombreuses personnes qui ont aidé à présenter des études de cas.

Nous remercions chaleureusement Esther Kienholz de la Direction générale des terres, Bureau régional de l'Atlantique, à Halifax (Nouvelle-Écosse), qui a préparé l'étude de cas de la route 101. Mme Kienholz tient à remercier les personnes suivantes pour l'aide spéciale qu'ils ont apporté à la préparation de l'étude de ce même cas: M. Mort Jackson et M. Bill Powell, (administration de la région métropolitaine de Halifax - Dartmouth), ainsi que la municipalité du comté de Halifax (Nouvelle-Écosse), pour les renseignements de première main sur l'emplacement de la décharge; M. Luke Trip, du Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Dartmouth (Nouvelle-Écosse), pour les renseignements d'ordre général et les photos; enfin Mme Dawn Allen, Direction générale des terres, Environnement Canada, Dartmouth (Nouvelle-Écosse), pour ses services cartographiques.

Nous remercions M. E.H. Klassen (Manager of Engineering; Works & Operations Division; Waterworks, Waste, & Disposal Department, ville de Winnipeg), ainsi que son personnel, pour sa collaboration à la préparation et à la révision de l'étude du cas de Kil-Cona.

Nous remercions M. R.J. Poland de Waste Management of Canada Inc., pour ses renseignements sur la décharge de Keele Valley et la révision de l'étude de cas.

Nous remercions spécialement M. R.C. MacKenzie d'Image Communicators, Edmonton (Alberta), pour sa préparation de la section sur la gestion des déchets dans le nord canadien.

M. Mackenzie aimerait remercier deux personnes qui ont fourni des renseignements précieux sur la gestion des déchets dans les deux territoires: M. J.M. Grainger, Département des routes et des travaux publics, Whitehorse (Yukon), et M. V. Christensen, Département du gouvernement local, Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest).

Les auteurs tiennent également à remercier les personnes qui dans chaque province ont aidé à obtenir et à réunir les renseignements nécessaires à la présentation d'une vue d'ensemble canadienne sur ce sujet.

D'ouest en est, on peut citer:

M. R.H. Ferguson
Director, Waste Management Branch
Ministry of Environment
Victoria (Colombie-Britannique)

M. R.C. Schurr
Pollution Control Section
Ministry of Environment
Victoria (Colombie-Britannique)

Mlle Luanne Reed
Waste Management Branch
Alberta Environment
Edmonton (Alberta)

M. C. Caswell
Saskatchewan Department of Health
Régina (Saskatchewan)

M. Cliff Lee
Waste Management Section
Environmental Management Division
Manitoba Environment
Winnipeg (Manitoba)

M. E.H. Klassen
Works and Operations Division
Waterworks, Waste and Disposal Department
Ville de Winnipeg
Winnipeg (Manitoba)

M. J. Petoia
Direction de la gestion des déchets
Ministère de l'Environnement
Toronto (Ontario)

Mme I. Wygodny
Direction des évaluations environnementales
Ministère de l'Environnement
Toronto (Ontario)

M. Pierre Gagnon
Ministère de l'Environnement
Gestion des déchets et de la restauration
du milieu terrestre
Sainte-Foy (Québec)

M. Guy Demers
Direction régionale de l'Outaouais
Environnement Québec
Hull (Québec)

M. R.A. Benoit
Direction du contrôle de la pollution
Ministère de l'Environnement
Fredericton (Nouveau-Brunswick)

M. D.C. Hynick
Waste Management Division
Department of Environment
Halifax (Nouvelle-Écosse)

M. D.H. MacKay
Department of Environment
Halifax (Nouvelle-Écosse)

M. D.J. MacCallum
Chief, Air and Solid Waste Section
Department of Community Affairs
Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard)

M. C.W. Strong
Director of Environmental Investigations
Branch
Department of Environment
St. John's (Terre-Neuve)

BIBLIOGRAPHIE

AD Hoc Group for Office of Science and Technology, Executive Office of the President. 1969. Solid Waste Management: A Comprehensive Assessment of Solid Waste Problems, Practices, and Needs. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.

Alberta. Public Health Act. R.S.A. Chapter P-27, 1980.

_____. Public Health Act Regulations.

Alter, A.J. 1972. «Arctic Environment Health Problems.» CRC Critical Reviews in Environmental Control. pp. 459–515. Chemical Rubber Company. Cleveland, Ohio.

_____; Betit, J.W.; et Miller, K.H. 1969. Solid Waste Management in Cold Regions. Scientific Research Data and Reports 2(2). Department of Health and Welfare, State of Alaska.

American Public Works Association. 1970. Municipal Refuse Disposal. 3ième éd. Institute for Solid Wastes of American Public Works Association. Public Administration Service. Chicago, Illinois.

Anon. 1972*a*. «A Third of Canada Surveyed on Waste Disposal Methods.» Water Pollution Control. vol. 110, nº 1, pp. 20–21. Southam Business Publications Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1972*b*. «Building a Refuse Mountain, Skiing Down the Other Site.» Water Pollution Control. vol. 110, nº 1, p. 20. Southam Business Publications Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1972*c*. «Two Cheers for Landfill: Adding Up Scores for Sites.» Water Pollution Control. vol. 110, nº 1, p. 20. Southam Business Publications Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1973. «From Refuse Heap to Botanic Garden.» Solid Wastes Management. vol. 16, nº 8, pp. 46–48. Communications Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1978*a*. «Gestion des déchets solides dorénavant au Québec.» La Revue Municipale. 56e année, nº 8, pp. 38–39. La Revue Municipale Inc. Montréal, Québec.

_____. 1978*b*. «Landfill-generated Gas: Time Bomb or Town Benefit?» American City & County. vol. 93, nº 4, pp. 57–59. Morgan-Grampian Publishing Co. Pittsfield, Massachusetts.

_____. 1978*c*. «Landfill Siting ... A Technical and Social Problem.» Civic Public Works. vol. 30, nº 6, pp. 10–12. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1978*d*. «Transfer Station that Looks Like a School.» Civic Public Works. Wastes Handling Supplement. pp. 28–29. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1979*a*. «Coping with Sanitary Landfill Methane Gas.» Civic Public Works. vol. 31, nº 6, pp. 34–36. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1979*b*. «Regional Landfill Encouraged in New Brunswick.» Civic Public Works. vol. 31, nº 5, pp. 24–26. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1980*a*. «Erie's Good-Neighbor Landfill.» Waste Age. vol. 11, nº 12, pp. 42–45. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

_____. 1980*b*. «Landfill Siting is Mostly a Social Problem.» Civic Public Works. vol. 32, nº 1, pp. 14–16. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1980*c*. «The Playing Fields of Milton are Built over the Town's Landfill.» Civic Public Works. vol. 32, nº 3, p. 2. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Aplet, JoAnne H., et Conn, W. David. 1977. «The Uses of Completed Landfills.» Conservation & Recycling. vol. 1, nº 3-4, pp. 237–246. Pergamon Press Ltd. Oxford, England.

Arthur, J.J.; Leone, I.A.; et Flower, F.B. 1981. «Flooding and Landfill Gas Effects on Red and Sugar Maples.» Journal of Environmental Quality. vol. 10, nº 4, pp. 431–433. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

Associated Engineering Services Ltd. 1973. Solid Waste Management in the Canadian North: The Problems and Some Recommendations for a Program of Investigation and Improvement. Préparé pour le Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Edmonton, Alberta.

Association générale des hygiénistes et techniciens municipaux. 1975. Les résidus urbains: collecte - traitement - nettoiement des voies publiques. Éditions PIC. Genève, Suisse.

Banerji, Shankha K., éd. 1977. Management of Gas and Leachate in Landfills. Comptes rendus du Third Annual Municipal Solid Waste Research Symposium tenu à St. Louis, Missouri, 14–16 mars 1977. EPA-600/9-77-026. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.

Barber, R.C. 1979. «How to Get Your Landfill Off the Ground.» First National Conference on Canadian Solid Wastes. Tenue le 31 octobre et les 1er et 2 novembre 1979 à Winnipeg, Manitoba. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Barnes, Kathleen, et Ross, Mark. 1972. «The Alternative: Solid Wasteland.» Environmental Quality Magazine. vol. III, nº 2, pp. 55–59. Environmental Awareness Associates Inc. Woodland Hills, Californie.

Baum, Bernard, et Parker, Charles H. 1973*a*. Plastics Waste Disposal Practices in Landfill, Incineration, Pyrolysis, and Recycle. DeBell & Richardson, Inc. Manufacturing Chemists Association. Washington, D.C.

_____. 1973*b*. Solid Waste Disposal: Volume 1, Incineration and Landfill. Ann Arbor Science Publishers, Inc. Ann Arbor, Michigan.

Beasy Nicoll Engineering Ltd. 1980. Fairview Cove Container Terminal – Phase II Preliminary Site Investigation – Levelling of Dump. Préparé pour Nova Scotia Department of Development. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____, et H.J. Porter and Associates Ltd. 1977. Proposed Regional Sanitary Landfill Off Highway 101, Halifax County, Pre-Design Report. Préparé pour the Halifax–Dartmouth Regional Authority. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____. 1978. Highway 101 Regional Sanitary Landfill, Baseline Water Quality Inventory. Préparé pour the Halifax–Dartmouth Regional Authority. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Bedford-Sackville News. Diverses dates 1974–1977. Bedford, Nouvelle-Écosse.

Berger, Allan. 1981. «Invest in the Future.» Waste Age. vol. 12, nº 3, pp. 22–31. National Solid Wastes Management. Washington, D.C.

Berger, Mr. Justice Thomas R. 1977*a*. Le Nord: terre lointaine, terre ancestrale: Rapport de l'enquête sur le pipeline de la vallée du Mackenzie. vol. I. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa, Ontario.

_____. 1977*b*. Le Nord: terre lointaine, terre ancestrale: Rapport de l'enquête sur le pipeline de la vallée du Mackenzie. vol. II. Les modalités. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa, Ontario.

Bird and Hale Ltd. 1978. Inventaire des déchets municipaux des collectivités canadiennes de plus de 100 000 habitants (1976–1977). Rapport préparé pour la Direction de la gestion des déchets, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Toronto, Ontario.

Bird, J.B. 1972*a*. «The Physical Characteristics of Northern Canada.» Studies in Canadian Geography: The North. Édité par W.C. Wonders. Publié pour le 22e Congrès international de géographie, Montréal 1972. University of Toronto Press. Toronto, Ontario.

_____. 1972*b*. The Natural Landscapes of Canada. 2ième éd. John Wiley & Sons. New York, New York.

Brown, R.J.E. 1967. Permafrost in Canada, Carte 1246A, Première édition, Commission géologique du Canada, Énergie, Mines et Ressources et Division des recherches en bâtiment, Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

Burg, Nan C. 1977. Reclamation of Energy from Solid Waste; Theory and Practice: A Selected, Annotated Bibliography for Municipal Officials. Exchange Bibliography 1228, Council of Planning Librarians. Monticello, Illinois.

Caine, B.D. 1973. What is a Landfill in British Columbia? Un séminaire sur la décharge contrôlée, Ensemble de communications présentées au séminaire. Douglas College, Institute of Environmental Studies. New Westminster, Colombie-Britannique.

Campbell, Betty. 1978. «Waste: Education Could be the Answer Minister tells B.C. Conference.» Civic Public Works. vol. 30, nº 6, pp. 29, 33. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Canadian Society of Soil Science. 1974. Comptes rendus de la Conférence internationale sur le terrain utilisé pour la gestion des déchets. octobre, 1973. Subventionnée par Environnement Canada et le Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

Canplan Consultants Ltd. 1972. A Study on Solid Waste Disposal for the Halifax–Dartmouth Growth Area. Préparé pour the Water Supply and Waste Disposal Task Force. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____. 1974. Pre-Design Report: Metropolitan Area Solid Waste Management Sanitary Landfill. Préparé pour Metropolitan Area Planning Commission. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____. 1976. Proposed Sanitary Landfill Near Jack Lake, Bedford, Pre-Design Report, Metropolitan Area Solid Waste Management. Préparé pour Halifax–Dartmouth Regional Authority. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Chant, Donald A., éd. 1970. Pollution Probe. New Press. Toronto, Ontario.

Chaput, Marcel et LeSauteur, Tony. 1971. Dossier Pollution. Éditions du Jour. Montréal, Québec.

Childs, Ken A. 1981. «Leachate: It Is Alive and Well and Living in Landfill Sites.» Civic Public Works. vol. 33, nº 2, pp. 18–19. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Chmelauskas, A.J., et Mooij, H. 1973. Refuse Disposal on Land in British Columbia. Séminaire sur la décharge contrôlée, Ensemble de communications présentées au séminaire. Douglas College, Institute of Environmental Studies. New Westminster, Colombie-Britannique.

City of Winnipeg. 1975. Environmental Impact Study: Northeast Park – Sanitary Landfill. Works and Operations Division, Waterworks, Waste and Disposal Department. Winnipeg, Manitoba.

Clark, R.H., et Brown, J.H. 1971. Municipal Waste Disposal: Problem or Opportunity. Un rapport pour the Ontario Economic Council. Toronto, Ontario.

Clark, Robert M., et Toftner, Richard O. 1972. «Land Use Planning and Solid Waste Management.» Public Works. vol. 103, nº 3, pp. 79–80. 98. Public Works Journal Corporation. East Stroudsburg, Pennsylvanie.

Cohen, J.B. 1973. Solid Waste Disposal in Permafrost Areas. nº 215, pp. 590–598. United States National Research Council. Washington, D.C.

Colombie-Britannique. Pollution Control Act. R.S. Chapter 332, 1979.

_____. Pollution Control Act Regulations.

_____. 1974. Pollution Control Objectives for the Chemical and Petroleum Industries of British Columbia. Department of Lands, Forests, and Water Resources. Victoria, Colombie-Britannique.

_____. 1975*a*. Pollution Control Objectives for Food-processing, Agriculturally Oriented, and Other Miscellaneous Industries of British Columbia. Department of Lands, Forests, and Water Resources. Victoria, Colombie-Britannique.

_____. 1975*b*. Pollution Control Objectives for Municipal Type Waste Discharges in British Columbia. Department of Lands, Forests, and Water Resources. Victoria, Colombie-Britannique.

_____. 1977. Pollution Control Objectives for The Forest Products Industry of British Columbia. Ministry of the Environment. Victoria, Colombie-Britannique.

_____. 1979. Pollution Control Objectives for The Mining, Smelting and Related Industries of British Columbia. Ministry of the Environment. Victoria, Colombie-Britannique.

Comité technique de la gestion des déchets solides. 1974. Directives pour le choix, l'exploitation et l'entretien des lieux d'enfouissement de déchets solides. Nouveau-Brunswick, Ministère des Pêches et de l'Environnement. Frédéricton, Nouveau-Brunswick.

Conestoga-Rovers & Associates. 1979. Gas Recovery & Utilization from a Municipal Waste Disposal Site: Draft Report. Volume I. Conestoga-Rovers & Associates. Waterloo, Ontario.

_____. 1980. Keele Valley Landfill Design Report. Volume II: Site Development Report. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

_____. 1981*a*. Proposal St. Thomas Landfill Gas Recovery and Utilization System: Phase III. Conestoga-Rovers & Associates. Waterloo, Ontario.

_____. 1981*b*. Gas Recovery & Utilization from a Municipal Waste Disposal Site: Phase II – Final Report. Volume IV. Conestoga-Rovers & Associates. Waterloo, Ontario.

_____. 1981*c*. Gas Recovery & Utilization from a Municipal Waste Disposal Site: Phase II – Progress Report I. Conestoga-Rovers & Associates. Waterloo, Ontario.

_____. 1981*d*. Récupération et utilisation des gaz de lieu d'enfouissement des déchets municipaux. Rapport EPS4-EC-81-2F. Préparé pour la Direction de la gestion des déchets, Direction générale du contrôle des incidences environnementales, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Conservation Council of Ontario. 1968. A Conference on Solid Wastes. J.W.B. Sisam, Président. 11 et 12 novembre 1968. Toronto, Ontario.

Cornish, Geoffrey. 1977. «Golf at the Town Dump.» Parks & Recreation. vol. 12, nº 5, pp. 28–29. National Recreation and Park Association. Arlington, Virginia.

Crossland, J. 1977. «The Wastes Endure.» Environment. vol. 19, nº 5, pp. 6–13. Scientists Institute for Public Information. St. Louis, Missouri.

Davies, Roger. 1973. «Tales of an Obliging Lady.» Water & Pollution Control. vol. III, nº 12, pp. 15–30. Southam Business Publications Limited. Don Mills, Ontario.

Dickson, Bob. 1981. «Computers Plan Waste Management Sites.» Civic Public Works. vol. 33, nº 2, pp. 29–30. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Ecologistics Limited; Ontario Research Foundation; et Valcoustics Canada Limited. 1980. Keele Valley Landfill Design Report. Volume VIII: Environmental Baseline Study Design. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

Eldredge, Richard. 1978. «Where have All the Landfills Gone?» Waste Age. vol. 9, nº 10, pp. 21–24. Three Sons Publishing Company. Niles, Illinois.

Emcon Associates. 1980. Keele Valley Landfill Design Report. Volume V: Accelerated Stabilization and Gas Control and Recovery. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

Environnement Canada. 1972*a*. Sanitary Landfilling Seminar: Proceedings. Gestion des déchets solides, Rapport EPS-4-EP-72-2. Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1972*b*. Classification des sols selon leur aptitude à la production agricole. Rapport de l'Inventaire des terres du Canada nº 2. Direction générale des terres. Ottawa, Ontario.

_____. 1973*a*. A Preliminary Overview of the Solid Waste Problem in Canada. Service de la protection de l'environnement. Gestion des déchets solides, Rapport EPS-6-EP-73-1. Ottawa, Ontario.

_____. 1973*b*. Report on Utilization of Wastes Generated in Urban Areas. A l'origine préparé pour le Conseil des sciences du Canada par James F. MacLaren Limited. Service de la protection de l'environnement. Gestion des déchets solides, Rapport EPS-6-EP-73-2. Ottawa, Ontario.

_____. 1975*a*. Open Dumps: Closure and Conversion. Guide de perfectionnement, Rapport EPS-6-EC-75-1. Direction générale de la conservation de l'environnement, Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1975*b*. La gestion des déchets solides: Quelques applications fondamentales. Gestion des déchets solides, Rapport EPS-3-EC-75-3F. Direction générale de la conservation de l'environnement. Subventionné par Environnement Canada et Ministère des Pêches et de l'Environnement du Nouveau-Brunswick. Ottawa, Ontario.

_____. 1975*c*. Normales au Canada. Tomes 1–3. Service de l'environnement atmosphérique. Downsview, Ontario.

_____. 1976. Progrès récents dans la gestion des déchets solides. Comptes rendus de séminaire. Direction de la gestion des déchets solides, Rapport EPS-3-EC-76-11F. Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1977*a*. Guide pratique pour la fermeture d'une décharge brute fédérale ou sa conversion en décharge contrôlée. Règlements, codes et accords. Rapport SPE-1-EC-77-4. Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1977*b*. Recommended Procedures for Landfill Monitoring Programme Design and Implementation. Comptes rendus d'un Séminaire international. Direction de la gestion des déchets, Rapport EPS-4-EC-77-3. Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1977*c*. Waste Management Bibliography. Direction de la gestion des déchets, Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1978. Guide pratique pour la manutention des déchets solides des installations fédérales. Règlements, codes et accords. Rapport EPS 1-EC-78-7. Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1979. Gloucester Township Special Waste Disposal Site Study. Service de la protection de l'environnement Rapport MS nº OR-26. Ottawa, Ontario.

Evans, R.S. 1973. Hogged Wood and Bark in British Columbia Landfills. NTIS Report PB-227 811/7WP. U.S. National Technical Information Service. Springfield, Virginie.

Fair, G.M. s.d. «Sanitary Engineering in Polar Regions.» Proceedings, Medicine and Public Health in the Arctic and Antarctic. Organisation mondiale de la santé. Genève, Suisse.

Farquhar, G.J., *et al.* 1972. Sanitary Landfill Study Final Report. The University of Waterloo Research Institute. Waterloo, Ontario.

Fenge, Terry. 1976. «Geomorphic Aspects of Sanitary Landfill Site Selection.» Victoria: Physical Environment and Development. Édité par H.D. Foster. Western Geographical Series, nº 12, pp. 241–287. University of Victoria. Victoria, Colombie-Britannique.

First National Conference on Canadian Solid Wastes. 1979. K.A. Childs, Président. Speakers Outline. 31 octobre – 2 novembre 1979. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Winnipeg, Manitoba.

Fischer, Joseph A., et Woodford, Donald L. 1973*a*. «Environmental Considerations of Sanitary Landfill Sites. Part One.» Public Works. vol. 104, nº 6, pp. 93-97. Public Works Journal Corporation. Ridgewood, New Jersey.

_____. 1973*b*. «Environmental Considerations of Sanitary Landfill Sites. Part Two.» Public Works. vol. 104, nº 7, pp. 70–73. Public Works Journal Corporation. Ridgewood, New Jersey.

Fischer, Peter. 1981. «Site Re-Use.» The Land Use Plan Review Handbook. Brouillon. Direction des évaluations environnementales, Ministère de l'environnement. Toronto, Ontario.

Flockton, P.R. 1971. Municipal Solid Waste: Origins, Attitudes and Management. Saint-Lambert, Québec.

Flower, Franklin B., *et al.* 1977. «Vegetation Kills in Landfill Environs.» Management of Gas and Leachate in Landfills. Édité par Shankha K. Banerji. Comptes rendus du Third Annual Municipal Solid Waste Research Symposium tenu à St. Louis, Missouri, 14–16 mars 1977. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/9-77-026. Cincinnati, Ohio.

Forgie, D.J. 1976. Shredded Solid Waste Disposal. Rapport EPS-4-NW-76-2, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Gehr, Marilyn. 1977. Solid Waste Management: A Selected and Annotated Bibliography. Exchange Bibliography 1295, Council of Planning Librarians. Monticello, Illinois.

General Electric Company. 1975. Solid Waste Management Technology Assessment. Van Nostrand Reinhold Co. New York, New York.

Genetelli, Emil J., et Cirello, John, éds. 1976. Gas and Leachate from Landfills: Formation, Collection, and Treatment. Comptes rendus du Research Symposium tenu à Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, 25–26 mars 1975. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/9-76-004. Cincinnati, Ohio.

Globe and Mail. 1981*a*. «Metro Council to hold special session: $38 million garbage site pondered.» 2 sept. 1981, p. 5. Canadian Newspapers Company Ltd. Toronto, Ontario.

_____ . 1981*b*. «Metro to buy landfill site for $38 million.» 4 sept. 1981, p. 5. Canadian Newspapers Company Ltd. Toronto, Ontario.

Glysson, E.A.; Packard, J.R.; et Barnes, C.H. 1972. The Problem of Solid Waste Disposal. The University of Michigan. Ann Arbor, Michigan.

Goddard, Haynes C. 1975. Managing Solid Wastes: Economics, Technology, and Institutions. Praeger Publishers, Inc. New York, New York.

Goddard, Stephen G. 1975. «Making and Planning a More Productive Sanitary Landfill.» American City and County. vol. 90, nº 12, p. 36. Morgan-Grampian, Inc. Pittsfield, Massachusetts.

Golder Associates. 1980. Keele Valley Landfill Design Report. Volume IV: Geotechnical Aspects of Clay Liner System. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

Golueke, Clarence G. 1970. Comprehensive Studies of Solid Wastes Management: Abstracts and Excerpts from the Literature. 3 vol. University of California. Berkeley, Californie.

_____. 1977. Biological Reclamation of Solid Wastes. Rodale Press. Emmaus, Pennsylvanie.

Goodings, W.D. 1974. «Modern Sanitary Landfill Techniques Let You Bury It.» Wastes Handling. Supplement to Civic—The Public Works Magazine. mai, 1974. pp. 14–15. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Gore & Storrie Limited. 1978. Proceedings of Hazardous Waste Management Seminar. Tenu à Toronto les 26 et 27 octobre 1978. Direction de la gestion des déchets, Environnement Canada.

Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest. 1981. Community Water and Sanitation Services. Department of Local Government.

Graff, W.J., et Rogers, J.R. 1972. The Economic and Social Aspects of Sanitary Landfill Site Selection. Préparé pour the National Aeronautics and Space Administration par the University of Houston. Houston, Texas.

_____. 1973*a*. «Social Consequences of Selecting Sanitary Landfill Sites.» Solid Wastes Management. vol. 16, nº 11, pp. 34–42, 78. Communication Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1973*b*. «Some Economic Aspects of Sanitary Landfill Site Selection.» Solid Wastes Management. vol. 16, nº 10, pp. 32, 54, 56. Communication Channels, Inc. New York, New York.

Grainge, J.W., *et al.* 1973. Management of Waste from Arctic and Sub-Arctic Work Camps. Préparé pour le programme écologique et social, Pipelines du Nord, Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord. Rapport nº 73-19. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Ottawa, Ontario.

Greco, James R. 1976. «New Uses for Landfill.» Solid Wastes Management. vol. 19, nº 3, pp. 28, 30, 32, 36, 78, 79. Communication Channels, Inc. Atlanta, Georgia.

Greenberg, Michael R., *et al.* 1976. Solid Waste Planning in Metropolitan Regions. Center for Urban Policy Research, Rutgers University. New Brunswick, New Jersey.

_____. 1979. A Primer on Industrial Environmental Impact. The Center for Urban Policy Research, Rutgers University. Piscataway, New Jersey.

Gunter, John D., et Jameson, William Carl. 1973. Recycling and Re-Use: The Future of Solid Waste. Exchange Bibliography 407, Council of Planning Librarians. Monticello, Illinois.

Hagerty, D. Joseph; Pavoni, Joseph L.; et Heer, John E. Jr. 1973. Solid Waste Management. Van Nostrand Reinhold Company. New York, New York.

Hare, F. Kenneth, et Thomas, Morley K. 1974. Climate Canada. Wiley Publishers of Canada Limited. Toronto, Ontario.

Hare, Michael J. 1982. Municipal Solid Waste Generation for Ontario: A 1980 Perspective. Préparé pour Ontario Waste Management Advisory Board. Toronto, Ontario.

Heinke, G.W. 1973. Solid Waste Disposal in Communities of the Northwest Territories. Division de la gestion des déchets solides, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Department of Civil Engineering, University of Toronto. Toronto, Ontario.

_____. 1974. Report on Municipal Services in Communities of the Northwest Territories. Rapport nº 73-1, Bureau du conseiller en recherche et en science nordiques. Affaires indiennes et du Nord Canada. Information Canada. Ottawa, Ontario.

_____, *et al.* 1974. Some Problems of Solid and Liquid Waste Disposal in the Northern Environment. Rapport nº 74-10. Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord, Programme écologique et social, Pipelines du nord. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Hemstock, R.A. 1974. «Land Management for Waste Disposal— Canadian Arctic.» Comptes rendus de la Conférence internationale sur le terrain utilisé pour la gestion des déchets. pp. 11–15. octobre 1973. Tenue par Environnement Canada et le Conseil national de recherches du Canada. Canadian Society of Soil Science. Ottawa, Ontario.

H.J. Porter & Associates Ltd. 1977. Solid Waste Management: Cumberland County. 4 rapports. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____, et Beasy Nicoll Engineering Ltd. 1977. Highway 101 Landfill Groundwater Monitoring Program. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____. 1979. Water Quality Assessment Highway 101 Landfill. Préparé pour Nova Scotia Department of the Environment. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Hocking, Drake, et MacDonald, William R., éds. 1974. Proceedings of a Workshop on Reclamation of Disturbed Lands in Alberta. Centre de recherches forestières du Nord. Information Rapport NOR-X-116. Subventionné par le Research Secretariat, Alberta Environment et Service canadien des forêts, Environnement Canada. Edmonton, Alberta.

Holdgate, M.W. 1979. A Perspective of Environmental Pollution. Cambridge University Press. Cambridge, Massachusetts.

Holton, M.C., *et al.* 1979. Gloucester Township Special Waste Disposal Site Study, 1979. Rapport M.S. nº OR-26. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Région de l'Ontario. Ontario.

Hough, Stansbury & Michalski Limited. 1980. Keele Valley Landfill Design Report. Volume VII: Site Finishing. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

Houston, Jourdan. 1973. «The Rise of Mt. Trashmore.» Parks & Recreation. vol. VIII, nº 1, pp. 28–30. National Recreation and Park Association. Arlington, Virginia.

Huntsman, B.E. 1976. «Geologic Considerations in Locating Landfills.» Materials: Dispose or Recycle? Édité par R. Fred Rolsten. Second International Conference on Environmental Problems of the Extractive Industries. Wright State University. Dayton, Ohio.

Île-du-Prince-Édouard. s.d. General Guidelines for Sanitary Landfill Site Selection. non publié. Department of Community Affairs. Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard.

International Water Consultants Ltd. 1980. Keele Valley Landfill Design Report. Volume II: Water Resources. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

Jacobs, Hersch, et Biswas, Asit K. 1972. Solid Wastes Management: Problems and Perspectives. Direction générale de la coordination de la recherche, Service des politiques, de la planification et de la recherche, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Jackson, R. Mort. 1975. Halifax–Dartmouth Metropolitan Area Solid Waste Management Project. Communication présentée au Metropolitan Area Planning Committee.

Jacques, Whitford and Associates Ltd. 1977. Report to H.J. Porter & Associates Ltd. on Geotechnical Investigation for Highway 101 Sanitary Landfill Site. Halifax, Nouvelle-Écosse.

James F. MacLaren Limited. 1967. Report and Technical Discussion on Refuse Disposal for Municipality of Metropolitan Toronto. Toronto, Ontario.

_____. 1970*a*. Report on Solid Waste Disposal for the City of London. James F. MacLaren Ltd., Consulting Engineers. London, Ontario.

_____. 1970*b*. Report on Utilization of Wastes Generated in Urban Areas. Gestion des déchets solides, Rapport EPS-6-EP-73-2. Direction de la protection écologique, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

_____. 1973. Technical Discussion to accompany Report on Solid Waste Management for the National Capital Area. Préparé pour la Commission de la capitale nationale et les autres. Toronto, Ontario.

James, Stephen C. 1977. «The Indispensable (Sometimes Intractable) Landfill.» Technology Review. vol. 79, nº 4, pp. 38–47. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts.

Keith, R.F., et Fischer, D.W. 1978. «Arctic Petroleum Development: Impacts and Issues for Northern Communities.» Readings in Canadian Geography. 3e éd. Édité par R.M. Irving. Holt Rinehart and Winston. Toronto, Ontario.

King, S.M., et Hart, S.A. 1974. «Aspects of Waste Disposal on Agricultural Land.» Conférence internationale sur le terrain utilisé pour la gestion des déchets. Tenue à Ottawa, Ontario en octobre 1973. Environnement Canada/Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

Laughlin, W.S. 1975. «Aleuts: Ecosystems, Holocene History and Siberian Origin.» Science. vol. 189, nº 4202, pp. 505–515. American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C.

Leskiw, Gene. 1981. Elements of Engineering Design for a Sanitary Landfill. Waste Management Series Publication nº 4. Waste Management Branch, Pollution Control Division, Alberta Environment. Edmonton, Alberta.

Lewis, Dan. 1973. Sanitary Landfill Planning and Factors to Consider in Site Selection. Un séminaire sur la décharge contrôlée. Ensemble de communications présentées au séminaire. Douglas College, Institute of Environmental Studies. New Westminster, Colombie-Britannique.

Loehr, Raymond C., éd. 1977. Land as a Waste Management Alternative. Comptes rendus de 1976 Cornell Agricultural Waste Management Conference. Ann Arbor Science Publishers Inc. Ann Arbor, Michigan.

Loughry, F. Glaude, et Lacour, William, D. 1979. «Sanitary Landfill Site Selection and Management.» Planning the Uses and Management of Land. Édité par Marvin T. Beatty, Gary W. Petersen, et Lester D. Swindale. Agronomy Monograph, nº 21, pp. 763–791. American Society of Agronomy, Inc.; Crop Science Society of America, Inc.; Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin.

Lu, James C.S.; Morrison, Robert D.; et Stearns, Robert J. 1981. «Leachate Production and Management from Municipal Landfills: Summary and Assessment.» Land Disposal: Municipal Solid Waste. Comptes rendus de Seventh Annual Research Symposium tenu à Philadelphia, Pennsylvanie, 16–18 mars 1981. Édité par David W. Shultz. EPA-600/9-81-002a. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.

Lymburner, John. 1977. «Phantom Dumpers: Haulers of Industrial Waste Pose a New Threat to Our Environment.» Civic Public Works. vol. 29, nº 12, pp. 26–27. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1980. «'Perpetual Care' for Wastes Still Some Time Off.» Civic Public Works. vol. 32, nº 6, pp. 22–24. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Lysyk, Kenneth M. 1977. Enquête sur le pipeline de la route de l'Alaska. Rapport pour le Ministre des Affaires indiennes et du développement du Nord. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa, Ontario.

MacKenzie, R.C. 1981. «Alberta Probes a New Resource.» Civic Public Works. vol. 33, nº 1, pp. 24–25, 40. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

_____. 1981. «Rural Alberta's Unique Waste Transfer System.» Civic Public Works. vol. 33, nº 2, pp. 21–23. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

MacLaren Atlantic Limited. 1977. Solid Waste Collection Rural Container Systems in Prince Edward Island and Westmorland County, New Brunswick. Direction de la gestion des déchets, Rapport EPS-4-EC-77-7. Pêches et Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Mail Star. Diverses dates 1974–1977. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Manitoba. Loi sur la protection de l'environnement. S.M. Chapitre 76, 1972 et toutes modifications.

_____. Loi sur la protection de l'environnement, règlement 208/76, 1976.

Manko, Joseph M., et Katcher, Bruce S. 1978. «Landfills: Buying Time or Building a Time Bomb?» Compost Science/Land Utilisation. Journal of Waste Recycling. vol. 19, nº 2, pp. 10–17. JG Press. Emmaus, Pennsylvanie.

Mantell, C.L., éd. 1975. Solid Wastes: Origin, Collection, Processing, and Disposal. John Wiley & Sons. New York, New York.

McCorkell, Jack. 1979. «Waste: Planning a Large Landfill Site.» Civic Public Works. vol. 31, nº 10, pp. 24–26. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

McGrath, George E., Jr. 1971. «A Site for Sore Eyes.» Soil Conservation. vol. 37, nº 3, pp. 62–63. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C.

McNeil, Raymond; David, Normand; et Mousseau, Pierre. 1973. Contrôle écologique du péril aviaire à l'aéroport international de Montréal à Mirabel, Québec. Rapport final nº 3. Centre de recherches écologiques de Montréal. Montréal, Québec.

Metropolitan Area Planning Committee. 1973. Regional Development Plan for Halifax-Dartmouth Metropolitan Area. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Minnich, Jerry. 1973. «Do Landfill Sites Make Good Neighbors?» Compost Science. Journal of Waste Recycling. vol. 14, nº 1, pp. 22–24. Rodale Press, Inc. Emmaus, Pennsylvanie.

Moell, C.E. 1979. Leachate and Gas Production in Municipal Solid Waste Test Cells—Edmonton Area. 45th National Conference, Canadian Institute of Public Health Inspectors.

Mooij, H. 1976. «Municipal Landfill Leachate Generation, Migration and Control.» Recent Developments in Solid Waste Management: Seminar Proceedings. Direction de la gestion des déchets solides, Rapport EPS-3-EC-76-11. Vancouver, Colombie-Britannique.

Nouveau-Brunswick. Loi sur l'assainissement de l'environnement. L.R.N.-B. C-6, 1973 et toutes modifications.

_____. Loi sur l'assainissement de l'environnement, règlements.

_____. 1981. Directives sur l'enfouissement des déchets solides. Ministère de l'Environnement en collaboration avec les ministères de la Santé, des Ressources naturelles, des Transports et des Affaires municipales de la province. Frédéricton, Nouveau-Brunswick.

Nouveau-Brunswick Ministère de l'Environnement. 1980. Existing Refuse Disposal Sites. (Carte). Frédéricton, Nouveau-Brunswick.

Nouvelle-Écosse. Environmental Protection Act. S.N.S. Chapter 6, 1973 et toutes modifications.

_____. Environmental Protection Act Regulation 51(f).

Nouvelle-Écosse Department of the Environment. 1975*a*. Report and Conclusions to the Study by the Sanitary Landfill Selection Committee. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____. 1975*b*. Metropolitan Area Landfill Site, Report of a Public Meeting by the Environmental Control Council on the Jack Lake Site with comments by N.S. Department of Environment. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____. 1977. Proposed Sanitary Landfill Site, Highway 101, Metro Landfill Site. Préparé par D.C. Hynick. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____. 1981. Water Quality Report, Highway 101 Sanitary Landfill Site. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Nouvelle-Écosse Department of Municipal Affairs. Novembre 1977. Highway 101 Regional Sanitary Landfill, Halifax County, Nova Scotia, Operations Manual. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Nouvelle-Écosse Environmental Control Council. 1975. Public Hearings, Transcripts on the Proposed Sanitary Landfill Operation, Jack Lake, County of Halifax. Amherst, Nouvelle-Écosse.

O'Brien, John. 1975. «Halifax's Battle of the Dump.» Wastes Handling. Supplement to Civic – The Public Works Magazine. mai 1975. p. 6. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Ontario. Loi sur la protection de l'environnement. R.S.O. Chapitre 141, 1980.

_____. Loi sur la protection de l'environnement, règlements.

Ontario Ministère de l'environnement. 1972. Aspects of Waste Management. Direction des services d'information. Toronto, Ontario.

_____. 1981. Guidelines for the Establishment, Operation, Management, Maintenance, Closure of Landfilling Sites in Ontario. Direction de la gestion des déchets. Toronto, Ontario.

_____. 1981*a*. Interim Guidelines for the Use of Land Adjacent to or on Completed Landfilled Areas. Brouillon. Gas Migration Committee. Président, J. Petoia, Direction de la gestion des déchets. Toronto, Ontario.

_____. 1981*b*. Methane Gas Production, Migration, Interception and Monitoring at Landfill Sites: Appendix I. Gas Migration Committee. Président, J. Petoia, Direction de la gestion des déchets. Toronto, Ontario.

_____. 1981*c*. The Land Use Planning Guidelines: An Approach To Deal With Incompatible Land Uses. Brouillon. Préparé par: Land Use Co-ordination Section, Environmental Approvals and Project Engineering Branch, Ministère de l'Environnement. Toronto, Ontario.

_____. 1981*d*. «Development On or Near Landfilling Sites.» The Land Use Plan Review Handbook. Chapter III-7. Brouillon. Préparé par: Land Use Co-ordination Section, Environmental Approvals and Project Engineering Branch, Ministère de l'Environnement. Toronto, Ontario.

Pacey, John G. 1981. «Controlling Landfill Gas.» Waste Age. vol. 12, nº 3, pp. 32–36. National Solid Wastes Management. Washington, D.C.

Packard, Vance. 1960. The Waste Makers. Simon & Schuster of Canada, Ltd. Richmond Hill, Ontario.

Patrick, P.K. 1977. «London Reaches Out to Disposal Sites with Major Railhaul Project.» Solid Wastes Management. vol. 20, nº 8, pp. 14–15, 60. Communication Channels, Inc. New York, New York.

Pavoni, Joseph L.; Hagerty, D. Joseph; et Lee, Robert E. 1972. «Environmental Impact Evaluation of Hazardous Waste Disposal in Land.» Water Resources Bulletin. vol. 8, nº 6, pp. 1091–1107. American Water Resources Association. Urbana, Illinois.

Pavoni, Joseph L.; Heer, John E., Jr.; et Hagerty, D. Joseph. 1975. Handbook of Solid Waste Disposal: Materials and Energy Recovery. Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series. Van Nostrand Reinhold Company. New York, New York.

Pearson, N. 1974. «Socio-Economic and Land-Use Planning for Waste Management and Disposal, Including Health and Legal Aspects.» Conférence internationale sur le terrain utilisé pour la gestion des déchets. Tenue à Ottawa, Ontario en octobre 1973. Environnement Canada/Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

Peter Middleton & Associates Limited. 1976. Composition and Quantity: A Critical Evaluation of Existing Data. Background Report No. 1. A Municipal Solid Waste Management Study. Pollution Probe, University of Toronto. Pollution Probe Foundation, University of Toronto. Toronto, Ontario.

Phelps, Daniel H. 1974. Solid Residual Generation in Urban Centres. n.p.

Poch, Harry, et Willms, John. 1979. «Municipal Liability and Waste Management Programs.» Municipal World. vol. 89, nº 5, pp. 131–132. Municipal World Ltd. St. Thomas, Ontario.

Pohland, Frederick G., et Engelbrecht, Richard S. 1976. Impact of Sanitary Landfills: An Overview of Environmental Factors and Control Alternatives. Préparé pour the American Paper Institute. New York, New York.

Poland, Ronald J. 1981. The Engineered Landfill: A Case History of the Keele Valley Site. Non publié. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

Popper, F.J. 1981. «Siting LULUs.» Planning. vol. 47, nº 4, pp. 12–15. American Planning Association. Chicago, Illinois.

Proctor and Redfern Group. 1980. Keele Valley Landfill Design Report. Volume VI: Site Servicing. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

Québec. Loi sur la protection du territoire agricole. Chapitre 10, 1978.

_____. Loi de la qualité de l'environnement. C.49, 1972.

_____. Loi de la qualité de l'environnement, règlements. A.C. 687-78, 1978.

Reid, Crowther & Partners Limited. 1980. Hazardous Wastes in Northern & Western Canada: The Need for a Waste Management Strategy. vol. 1. Assessment of Need. Préparé pour Environnement Canada. Calgary, Alberta.

Reindl, John. 1977*a*. «Interrelationships Within the Solid Wastes System. Lesson #1.» Solid Wastes Management. vol. 20, pp. 22–23, 54–56. Communication Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1977*b*. «Solid Wastes Disposal Depends on Landfill Techniques. Lesson #3.» Solid Wastes Management. vol. 20, nº 6, pp. 22–24, 48. Communication Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1977*c*. «Managing Gas and Leachate Production on Landfills. Lesson #4.» Solid Wastes Management. vol. 20, nº 7, pp. 30–31, 64–68, 86–90. Communication Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1977*d*. «Proper Site Selection Requires Balancing of Established Criteria. Lesson #5.» Solid Wastes Management. vol. 20, nº 8, pp. 26–27, 56–58, 70–71. Communication Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1977*e*. «Gathering Data: Most Important Step in Designing Landfill. Lesson #6.» Solid Wastes Management. vol. 20, nº 9, pp. 42–44, 74–78. Communication Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1977*f*. «Evaluating Design Alternatives for Landfill Construction. Lesson #7.» Solid Wastes Management. vol. 20, nº 10, pp. 44–50, 66. Communication Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1978. «Closing of Landfill Needs Care to Avoid Future Site Problems. Lesson #10.» Solid Wastes Management. vol. 21, nº 1, pp. 22–26, 64–66. Communication Channels, Inc. New York, New York.

_____. 1981*a*. «Introducing Waste Handling.» Waste Age. vol. 12, nº 2, pp. 70–77. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

_____. 1981*b*. «Recycling and Processing Solid Wastes.» Waste Age. vol. 12, nº 3, pp. 98–104. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

_____. 1981*c*. «Land Disposal of Solid Wastes.» Waste Age. vol. 12, nº 4, pp. 172–181. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

_____. 1981*d*. «Gas and Leachate Movement.» Waste Age. vol. 12, nº 5, pp. 62–70. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

_____. 1981*e*. «Landfill Site Selection.» Waste Age. vol. 12, nº 6, pp. 178–196. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

_____. 1981*f*. «Sanitary Landfill Site Design.» Waste Age. vol. 12, nº 8, pp. 85–99. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

_____. 1981*g*. «Sanitary Landfill Operation.» Waste Age. vol. 12, nº 9, pp. 60–74. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

_____. 1981*h*. «Landfill Closure and Long-term Care.» Waste Age. vol. 12, nº 10, pp. 71–83. National Solid Wastes Management Association. Washington, D.C.

Rimberg, David. 1975. Municipal Solid Waste Management. Pollution Technology Review nº 26. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey.

Rimes, Les. 1975. «There's Trouble Brewing at Burns Bog.» Wastes Handling. Supplement to Civic – The Public Works Magazine. mai 1975. p 7. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Rogel, Jean-Pierre. 1977. «Le procès des dépotoirs: le problème écologique numéro un du Québec: les dépotoirs à ciel ouvert.» Québec Science. vol. 15, nº 11, pp. 18–22. Université du Québec. Sillery, Québec.

Rovers, F.A., et Sobarski, A.A. 1977. Recommended Procedures for Landfill Monitoring Programme Design and Implementation. Direction de la gestion des déchets, Rapport EPS-4-EC-77-3, Pêches et Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Sanderson, Eric. 1972*a*. The Federal Role in Solid Wastes Management. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada.

_____. 1972*b*. An Integrated National Approach to Solid Wastes Management. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada.

Sanderson, E.; Brydon, J.E.; et Monteith, J. 1974. «Environmental Implications of Multijurisdictional Problems in Waste Management.» Conférence internationale sur le terrain utilisé pour la gestion des déchets. Tenue à Ottawa, Ontario en octobre 1973. Environnement Canada/Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

Sangrey, D.A.; Pollard, W.S.; et Cushing, J.P. 1973. «Engineering Landfill for Reuse of the Site.» Comptes rendus de la Conférence internationale sur le terrain utilisé pour la gestion des déchets. pp. 224–233. Tenue à Ottawa, Ontario en octobre 1974. Subventionnée par Environnement Canada et le Conseil national de recherches du Canada. Canadian Society of Soil Science. Ottawa, Ontario.

Saskatchewan. The Public Health Act. R.S.S. Chapter P-37, 1978.

_____. Waste Management Regulations, 1972.

_____. The Environmental Assessment Act. S.S. Chapter E-10.1, 1980.

Schledermann, Peter. 1981. «Eskimo and Viking Finds in the High Arctic.» National Geographic. vol. 159, nº 5, pp. 575–601. National Geographic Society. Washington, D.C.

Schwegler, Ronald E. 1981. «Update on Selected Waste-to-Energy Projects.» Waste Age. vol. 12, nº 3, pp. 106–113. National Solid Wastes Management. Washington, D.C.

Schwinghamer, A.J. 1979. «The Operation of a Sanitary Landfill by the City of Moose Jaw.» First National Conference on Canadian Solid Wastes. Tenue du 31 octobre au 2 novembre 1979 à Winnipeg, Manitoba. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Second National Conference on Waste Management in Canada. 1980. K.A. Childs, Président. Panelists' Outlines and Panelists' Outlines Addendum. 15–17 octobre 1980. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Winnipeg, Manitoba.

Service de la gestion des ressources des Maritimes, Conseil des Premiers ministres des Maritimes. 1975; 1981. Photos aériennes (noir et blanc), Échelle 1:10,000. Amherst, Nouvelle-Écosse.

Service de la protection de l'Environnement. Gouvernement du Québec. 1972. La gestion des déchets solides. L'Editeur Officiel du Québec. Québec, Québec.

Sewell, Granville H. 1975. Environmental Quality Management. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

Sexsmith, D.P.; Wilson, T.M.A.; et Graham, R.G. 1974. «Selection Criteria, Methods, and Scoring System for Sanitary Landfill Site Selection.» Conférence internationale sur le terrain utilisé pour la gestion des déchets. Tenue à Ottawa, Ontario en Octobre 1973. Environnement Canada/Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

Shultz, David W., éd. 1981. Land Disposal: Municipal Solid Wastes. Comptes rendus du Seventh Annual Research Symposium tenu du 16 au 18 mars 1981 à Philadelphie, Pennsylvanie. Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio.

Simpson-Lewis, W., *et al.* 1980. Les terres de choix du Canada: Une étude sélective de l'utilisation des terres dans une perspective nationale. Dossier cartographique nº 4. Direction générale des terres, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Sittig, Marshall. 1979. Landfill Disposal of Hazardous Wastes and Sludges. Pollution Technology Review nº 62. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey.

Small, William E. 1970. Third Pollution: The National Problem of Solid Waste Disposal. Praeger Publishers. New York, New York.

Solman, V.E.F. 1973. «Influence of Garbage Dumps Near Airports on the Bird Hazard to Aircraft Problem.» Proceedings: National Conference on Urban Engineering Terrain Problems. Édité par W.J. Eden. Technical Memorandum nº 109. Associate Committee on Geotechnical Research. Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

Sorg, Thomas J., et Hickman H. Lanier, Jr. 1970. Sanitary Landfill Facts. 2nd ed. Public Health Service Publication nº 1792. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Washington, D.C.

Stanley Associates Engineering Ltd. 1973. Solid Waste Management in the Canadian North. Préparé pour la Division de la gestion des déchets solides, Service de la protection de l'environnement. Environnement Canada. Edmonton, Alberta.

_____. 1974. A Feasibility Study on the Use of Baling for Solid Waste Management at Baker Lake, N.W.T. Préparé pour le Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Edmonton, Alberta.

Stearns, Robert P., et Ross, David E. 1973. «Environmental Impact Statements for Sanitary Landfills.» Public Works. vol. 104, nº 11, pp. 63–66. Public Works Journal Corporation. Ridgewood, New Jersey.

Stearns, Robert P., et Woodyard, John P. 1977. «The Impact of Resource Recovery on Urban Landfill Requirements.» Waste Age. vol. 8, nº 1, pp. 48–56. Three Sons Publishing Company. Niles, Illinois.

Steiner, R.L., et Kantz, Renee. 1968. Sanitary Landfill: A Bibliography. Solid Wastes Program, U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Cincinnati, Ohio.

Stone, Ralph. 1975. «Aerobic Landfill Stabilization.» Solid Wastes: Origin, Collection, Processing, and Disposal. Édité par C.L. Mantell. John Wiley and Sons, Inc. New York, New York.

_____. 1977. «Sanitary Landfill.» Handbook of Solid Waste Management. Édité par David Gordon Wilson. Van Nostrand Reinhold Company. New York, New York.

Straughn, Robert O. 1972. «The Sanitary Landfill in the Subarctic.» Arctic. vol. 25, nº 1, pp. 40–48. Arctic Institute of North America. McGill–Queen's University Press. Montréal, Québec.

Task Force on Waste Disposal. 1977. Waste Disposal Research Projects. Subcommittee on Urban Engineering Terrain Problems. Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

Terre-Neuve. The Waste Material (Disposal) Act. 1973 et toutes modifications.

Terre-Neuve et Labrador. 1981. Guidelines for Waste Disposal Site Selection. Department of Environment. St. John's, Terre-Neuve.

Third National Conference on Waste Management in Canada. 1981. K.A. Childs, Président. Panelists' Outlines. 14–16 octobre 1981. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Toronto, Ontario.

Transports Canada. 1981. Utilisation des terrains au voisinage des aéroports. TP 1247F. Administration canadienne des transports aériens, Aéronautique civile. Ottawa, Ontario.

Underwood, McLellan and Associates Limited. 1973. Solid Waste Management in the Canadian North: the Problems and Some Recommendations for a Program of Investigation and Improvement. Préparé pour la Division de la gestion des déchets, Environnement Canada. Edmonton, Alberta.

United States Environmental Protection Agency. 1972. Winter Survival of Fecal Coliform Bacteria in a Subarctic Alaskan River. Rapport EPA-R2-72-013. Washington, D.C.

Van Holten, Arnold A. 1978. «How Legislation Affects Landfill and Liquid Waste Disposal.» Municipal World. vol. 88, nº 11, pp. 294, 303. Municipal World Ltd. St. Thomas, Ontario.

_____. 1978. «Landfilling: Can We Make It Truly Sanitary?» Civic Public Works. vol. 30, nº 10, pp. 44–45. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Van Tassel, Alfred J., éd. 1970. Environmental Side Effects of Rising Industrial Output. Studies in Social and Economic Process. Heath Lexington Books, D.C. Heath and Company, Lexington, Massachusetts.

Vardy, Peter. 1974. «Design, Environmental Management and Economic Considerations for Sanitary Landfills.» Waste Age. vol. 5, nº 1, pp. 21–26, 77. Three Sons Publishing Company. Niles, Illinois.

Veitch, Ian; Milne, Craig; et Warburton, Kim. 1980. Land Use Compatibility Study. Land Use Co-ordination & Special Studies Section, Environmental Approvals Branch, Ontario Ministère de l'environnement. Toronto, Ontario.

Viraraghavan, T. 1973. «Sanitary Landfill Practices in Canada.» Public Works. vol. 104, nº 3, pp. 92–94. Public Works Journal Corporation. Ridgewood, New Jersey.

Wallace, Mary Beth. 1979. «Halifax-Dartmouth Site Finds Popular Support.» Civic Public Works. vol. 31, nº 6, pp. 40–41. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Warner, Arthur J.; Parker, Charles H.; et Baum, Bernard. 1972. Plastics Solid Waste Disposal by Incineration or Landfill. DeBell & Richardson, Inc. Manufacturing Chemists Association. Washington, D.C.

Waste Management of Canada, Inc. 1980. Keele Valley Landfill Design Report. Volume 1: Executive Summary. Waste Management of Canada, Inc. Maple, Ontario.

Webber, L.R. 1973. «Solid Wastes.» Canadian Geographical Journal. vol. 86, nº 6, pp. 192–201. Royal Canadian Geographical Society. Ottawa, Ontario.

Wehrspann, Jerry R. 1975. «Sanitary Landfills as a Gully Reclamation Method.» Solid Wastes: Origin, Collection, Processing, and Disposal. Édité par C.L. Mantell. John Wiley and Sons, Inc. New York, New York.

Weiss, Samuel. 1974. Sanitary Landfill Technology. Pollution Technology Review nº 10. Noyes Data Corporation. Park Ridge, New Jersey.

Wells, Wally. 1979. «Landfill: Small Sites Are Just as Sophisticated as Big Ones.» Civic Public Works. vol. 31, nº 10, pp. 20–22. Maclean-Hunter Limited. Toronto, Ontario.

Williamson, Wesley. 1973. «Land Use Aspects of Solid Waste Management Systems.» Communication présentée à la Conférence internationale sur le terrain utilisé pour la gestion des déchets. 1–3 octobre 1973 à Ottawa. Ottawa, Ontario.

Wilson, David Gordon, éd. 1972. The Treatment and Management of Urban Solid Waste. Massachusetts Institute of Technology. Technomic Publishing Co. Westport, Connecticut.

_____, éd. 1977. Handbook of Solid Waste Management. Van Nostrand Reinhold Company. New York, New York.

Zaloum, R., *et al.* 1978. Preliminary Evaluation of a Package Controlled Air Incinerator for Solid Waste and Sewage Disposal. Rapport EPS-4-EC-78-1. Service de la protection de l'environnement. Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Zolomij, Robert W., *et al.* 1973. «Site Planning and Potential Use for Sanitary Landfills.» NTIS Report PB - 226 277/2WP. U.S. National Technical Information Service. Springfield, Virginie.

ÉTUDE DES CONTRAINTES EXERCÉES SUR LES TERRES PAR L'EXPLOITATION AÉROPORTUAIRE FÉDÉRALE AU CANADA

Kathleen G. Beattie*

* *Kathleen Beattie, géographe, est expert-conseil en recherche à Ottawa (Ontario).*

TABLES DES MATIÈRES

Page

L'AMÉNAGEMENT DES AÉROPORTS FÉDÉRAUX ET LA VOCATION DES TERRES 101
Introduction 101
Définition du terme contrainte 101
Aménagement et infrastructure aéroportuaires 102
Utilisation des terres, valeur et possibilités 102
Vue d'ensemble des activités aéroportuaires fédérales et de la gestion des terres 102
L'importance spatiale des aménagements aéroportuaires 103

CONTRAINTES SUR LES TERRES 104
Qualité de l'environnement 104
La nature des contraintes sur l'environnement 104
Les implications des contraintes sur l'environnement 105
Incidences des aéroports sur l'esthétique de l'environnement 107
Le bruit des aéroports et les terres 107
Problèmes d'utilisation des terres 112
Urbanisation, infrastructure et aménagement régional 112
Restrictions d'utilisation des terres 115

PLANIFICATION DES AÉROPORTS ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 116
Politiques, lignes directrices et mesures de réduction 116
L'ACTA et la politique de protection de l'environnement des aéroports 116
Le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement 117
Planification de l'utilisation des terres des aéroports 118

Projets d'aéroports et contraintes connexes sur les terres 119
Expansion aéroportuaire: Hamilton et Vancouver 119
Un nouveau site aéroportuaire: Mirabel 123
Un projet d'aéroport interrompu: Pickering 123

CONCLUSION 124

REMERCIEMENTS 125

BIBLIOGRAPHIE 126

FIGURES

1. Carte d'isolignes de bruit (NEF) d'un aéroport à piste unique 109
2. Tableau de compatibilité des utilisations du sol suivant le NEF en Ontario 116

TABLEAUX

1. Terres liées à l'existence des installations aéroportuaires sous juridiction fédérale 101
2. Prédictions généralisées des réactions de la population à l'exposition au bruit 110
3. Tableau de compatibilité des utilisations du sol suivant le NEF 110
4. Activités liées aux opportunités d'emploi découlant directement de l'existence des aéroports 114
5. Activités liées aux opportunités d'emploi découlant indirectement de l'existence des aéroports 114
6. Matrice-échantillon des répercussions sur l'environnement - nombre minimal de détails 118
7. Matrice-échantillon des répercussions sur l'environnement - nombre moyen de détails 119
8. Incompatibilités des utilisations potentielles des terres 120

L'AMÉNAGEMENT DES AÉROPORTS FÉDÉRAUX ET LA VOCATION DES TERRES

Introduction

Définition du terme contrainte

L'aménagement de l'aéroport de Mirabel a marqué les années 70, et continue, dans les années 80, à faire les manchettes. Qu'une entreprise comme l'aménagement d'un aéroport capte ainsi l'attention du public pendant plus d'une décennie témoigne de l'importance que tient la protection de l'environnement dans notre société. Tout comme de nombreux autres grands travaux d'aménagement du territoire, la construction d'aéroports touche la population de près en modifiant son milieu de vie, et suscite de sa part des protestations qui mènent parfois aux débats publics.

Les répercussions d'un aéroport sur l'environnement en débordent largement les limites physiques. Les incidences directes de la construction de l'aéroport sur les terres se font sentir sur les lieux mêmes, mais les effets de l'exploitation de cet aéroport sont plus vastes. Bien que l'influence d'un aéroport sur sa région environnante puisse être considérée de plusieurs façons comme positive et conforme aux objectifs de développement économique, l'opposition croissante de la population locale à l'aménagement des aéroports confirme le type de contraintes auxquelles les aéroports donnent lieu.

Les aéroports peuvent exercer des contraintes sur les terres de plus d'une façon; certains de ces facteurs sont immédiatement discernables, tandis que d'autres se présentent comme les effets indirects de l'activité aéroportuaire. Ainsi, la construction des installations d'un nouvel aéroport en un lieu donné perturbe inévitablement le milieu ambiant et modifie le relief et le mode d'utilisation des terres. Il existe un rapport de cause à effet évident entre l'aménagement aéroportuaire et les modifications de l'utilisation du sol, mais ce rapport est plus difficile à discerner entre les activités aéroportuaires et leurs répercussions indirectes, bien que ces répercussions n'en soient pas moins multiples. Les aéroports stimulent indirectement l'activité économique dans les environs immédiats et, du coup, ceci donne lieu à des changements dans l'utilisation, la valeur et les possibilités des terres. Ce type d'effet indirect est évident aux endroits où les aéroports ont stimulé l'urbanisation des zones rurales, ce qui a soustrait certaines terres à l'agriculture.

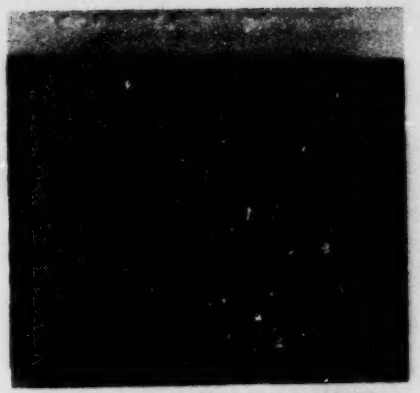


Photo 1. Les aéroports occupent de grandes superficies et comprennent notamment des zones tampons, des pistes de décollage et d'atterrissage, des aérogares, des terrains de stationnement, des installations pour les télécommunications et des hangars. Une superficie d'environ 35 600 ha a été achetée originellement pour l'aéroport de Mirabel. La superficie actuellement utilisée est d'environ 6 920 ha, la plus vaste au Canada.
G. Thomas, Transports Canada

À une époque où des activités aussi nombreuses que variées se disputent l'utilisation des terres du Canada, il est normal que notre intérêt augmente au sujet des contraintes exercées par les aéroports sur l'utilisation du sol. Les aéroports monopolisent de grandes étendues. Transports Canada, ministère fédéral responsable de l'Administration canadienne des transports aériens (ACTA) possède 160 aéroports et en exploite 90 parmi les 875 qui détiennent un permis au Canada. Ces aéroports fédéraux comprennent tous les grands aéroports internationaux du pays ainsi que les principales installations commerciales touchant le transport aérien. L'exploitation foncière fédérale liée aux installations aéroportuaires englobe pas moins de 98 765 ha, suivant les données du Répertoire immobilier central (RIC) pour l'année 1981. Et, bien sûr, une zone d'influence aéroportuaire dans une région s'étend bien au-delà des limites de son emplacement. Le tableau 1 précise l'étendue des exploitations foncières réservées aux aéroports qui tombent sous la juridiction fédérale suivant chacune des provinces ou territoires du Nord.

Pour étudier les divers problèmes «de contraintes sur les terres» liés à l'activité aéroportuaire du gouvernement fédéral, il peut être utile de les envisager à partir de deux points de vue différents. Le premier, qui fera l'objet de plus amples considérations plus tard au cours de la présente étude, est celui qui a trait à la qualité de l'environnement et aux répercussions des

TABLEAU 1.
Terres liées à l'existence des installations aéroportuaires sous juridiction fédérale

Province ou territoire	hectares
Terre-Neuve	17 443,4
Île-du-Prince-Édouard	330,1
Nouvelle-Écosse	1 928,4
Nouveau-Brunswick	3 059,7
Québec	10 777,4
Ontario	20 014,8
Manitoba	4 876,7
Saskatchewan	2 634,2
Alberta	8 409,5
Colombie-Britannique	12 406,3
Yukon	2 074,9
Territoires du Nord-Ouest	14 809,7
Total du Canada	98 765,1

Source: Calculs effectués à partir des données du Répertoire immobilier central (RIC), 1981.

aéroports sur le milieu naturel des terres affectées. Ceci comprend les contraintes exercées sur les terres par des niveaux de bruit élevés dans les localités environnantes, la perturbation du milieu naturel et des écosystèmes, les dangers pour l'environnement, la pollution, ainsi que les atteintes portées aux plus beaux paysages. Il convient de souligner que ces craintes pour l'environnement ne doivent être considérées qu'en fonction de leurs liens avec les contraintes exercées sur les terres.

Le second point de vue est celui qui a trait aux questions plus précises d'utilisation des terres liées à l'activité aéroportuaire. Les répercussions directes des aéroports sur l'utilisation du sol englobent l'implantation de certaines installations aéroportuaires et de leur infrastructure, les restrictions d'utilisation du sol qui en découlent, les problèmes d'expropriation ainsi que les changements de zonage dans les environs immédiats des aéroports. Les effets indirects de l'aménagement des aéroports avec répercussions sur l'utilisation des terres sont les suivants: stimulation des activités économiques régionales, contraintes sur les chemins vicinaux et régionaux par suite du volume plus élevé de circulation, contraintes exercées sur d'autres infrastructures de surface comme c'est le cas pour les services d'électricité et d'égout, pressions sur le marché immobilier local et la valeur des terres et, finalement, climat favorable créé pour les utilisations industrielles, commerciales et autres utilisations urbaines du sol.

Aménagement et infrastructure aéroportuaires

Comme point de départ des contraintes d'utilisation du sol découlant des aménagements aéroportuaires, on peut parler du changement des infrastructures sur les terres. Les réseaux de transport viennent se surimposer sur les terres et perturber à la fois le milieu naturel et les utilisations du sol déjà en concurrence. En outre, l'addition de l'infrastructure de soutien a tendance à favoriser et à accélérer le processus de développement dans les environs des aéroports en y attirant des activités susceptibles de faire appel aux nouveaux services disponibles. Dans une étude des effets des aéroports sur l'économie et l'urbanisation, l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE) a fait observer qu'il existait un effet «favorable» bien distinct exercé par les aéroports sur leur milieu environnant. Les aéroports contribuent généralement à rehausser le potentiel de développement d'une région en assurant certains services automatiques et en apportant une infrastructure toute faite qui autrement ne verrait jamais le jour. La construction d'un aéroport donne donc lieu à l'amélioration du réseau routier régional et entraîne l'installation d'autres services publics comme l'aqueduc, l'électricité, le gaz et les égouts (OCDE, Secrétariat, 1975). D'après Young (1974), l'infrastructure de soutien d'un aéroport peut répondre à bien d'autres besoins que ceux de l'aviation comme telle; en effet, elle joue le rôle de «complément» aux lieux aménagés et elle contribue à accélérer le processus de développement d'une région en stimulant sa croissance économique.

Utilisation des terres, valeur et possibilités

L'importance de l'aménagement aéroportuaire dans la détermination de l'utilisation, de la valeur et des possibilités des terres ne peut être sous-estimée. Le Canada est déjà aux prises avec un problème de rareté des terres propices à l'aménagement de nouveaux aéroports ou à l'expansion des aéroports existants. Tout projet d'expansion des aéroports actuels ou de construction de nouvelles installations est susceptible d'opposition de la part de personnes qui prétendent vouloir assurer la «meilleure» utilisation possible des ressources de base. Les utilisateurs du sol, qui se font déjà concurrence entre eux, fondent leurs arguments contre l'aménagement des aéroports sur le besoin constaté d'une utilisation à la fois plus efficace et plus équitable du sol. Les décisions concernant la construction des aéroports nécessitent le maintien d'un équilibre entre les objectifs de rendement aéronautique et l'utilisation des terres. De cette manière, on arrive généralement à des compromis entre des intérêts divergents. Le groupe sectoriel sur l'environnement urbain de l'OCDE (1975) a décrit les principales considérations indépendantes du transport concernant la prise de décision aéroportuaire de la façon suivante: objectifs de planification régionale, destination de remplacement dans l'utilisation du sol, incidences du bruit sur la qualité du milieu, effets des activités aéroportuaires sur le milieu écologique local et, finalement, les attitudes publiques et les réactions des habitants du voisinage.

Le degré et l'importance des contraintes sur les terres dues aux aéroports sont plus faciles à évaluer par le poids ou l'importance des facteurs qui précèdent dans le cas d'un site aéroportuaire particulier. Par exemple, la construction d'un nouvel aéroport dans un milieu à dominante rurale peut occasionner des contraintes écologiques bien supérieures à ce qui se passerait si des installations aéroportuaires étaient agrandies aux dépens d'un milieu urbain déjà bâti. D'autre part, l'expansion des installations aéroportuaires en zone urbanisée peut provoquer des conflits bien plus grands entre les différents utilisateurs de terres que ce ne serait le cas pour l'acquisition d'un nouveau site rural.

Les contraintes que fait peser un aéroport sur les terres de son voisinage peuvent aussi être évaluées du point de vue de la politique d'aménagement de la région concernée. La construction d'un nouvel aéroport dans une région sous-développée aura un effet positif sur son potentiel de croissance économique en y attirant des industries assurant des services destinés à l'activité aéronautique, en générant des sources d'emploi dans la région, en stimulant la construction de logements pour les nouveaux employés et en suscitant la croissance des autres industries secondaires et tertiaires ainsi que celle des services. Cet effet multiplicateur du progrès économique serait effectivement beaucoup moins contraignant pour une région recherchant la diversification et la croissance économique que pour une région qui chercherait à décourager toute urbanisation plus poussée ou pour une région visant à préserver son domaine agricole par des objectifs politiques précis (OCDE, Groupe sectoriel sur l'environnement urbain, 1975). Par exemple, une des justifications pour le choix du site de Pickering plutôt que les autres sites possibles pour l'aménagement du deuxième aéroport international de Toronto s'appuyait sur le fait que le projet correspondait à l'objectif du plan d'aménagement régional centré sur Toronto consistant à orienter la croissance future de la ville dans une direction nord-est (Marriot et Cook, 1975; Canada, Commission d'enquête sur l'aéroport, 1974).

Vue d'ensemble des activités aéroportuaires fédérales et de la gestion des terres

Mirabel, situé à 64 km au nord-ouest de Montréal, est ce qu'on appelle un aéroport international de la «troisième génération» (OCDE Groupe sectoriel sur l'environnement urbain, 1975). Le choix d'un endroit aussi éloigné que Mirabel montre bien qu'au Canada, il devient de plus en plus difficile de trouver des emplacements pour la construction de ces grands aéroports et ce problème a commencé à se faire sentir vers la fin des années 60. Auparavant, ni le processus de sélection de l'emplacement ni la planification aéroportuaire n'étaient si compliqués.

Au Canada, la première phase de la construction d'un super- aéroport trouve son origine vers 1936 lorsque le Parlement a adopté la Loi sur le ministère des Transports. Ce nouveau ministère reprenait alors les responsabilités concernant l'aéronautique qui avait appartenu jusque là à la Direction de l'aviation civile du ministère de la Défense nationale, ce qui lui permettait de s'occuper de la construction, pour le compte du Ministère, des premières pistes d'atterrissage incorporant la Trans-Canada Airway (Pendakur, 1974). Quant aux aéroports modernes, ils n'ont fait leur apparition qu'au moment de la Seconde Guerre mondiale. Les pistes d'atterrissage gazonnées ont alors fait place à des aéroports militaires munis de pistes revêtues, de dispositifs de radiocommunication, d'installation de météorologie, de réservoirs de carburant, d'aérogares, de dispositifs d'éclairage et d'installations de contrôle du trafic aérien (Pendakur, 1974). Un bon nombre de ces premiers aéroports militaires, comme c'est le cas pour celui de Sea Island, à Vancouver, sont revenus sous juridiction civile après la guerre, puis ils sont devenus des aéroports internationaux (Transports Canada, 1981*a*). La croissance de ces aéroports et d'autres nouveaux au cours des années 50 et 60 a donné la deuxième génération de construction aéroportuaire au Canada. Des installations aéroportuaires de petite dimension ont été ajoutées et les emplacements ont été agrandis afin de mieux répondre à la technologie aéronautique en voie de transformation ainsi qu'à la demande commerciale de l'aviation. Les aéroports pouvaient alors connaître une croissance plus ou moins indépendante des problèmes de terres disponibles. Les localités et les centres urbains étaient plus ou moins circonscrits et n'avaient pas encore commencé à s'étaler vers l'extérieur des limites des villes.

Pour répondre à l'évolution de la technologie aéronautique, les pistes de 900 m des premières années ont été prolongées pour atteindre 1 370 m vers le milieu des années 40, puis elles ont été portées à 3 000 m au cours des années 60. Entretemps, le potentiel d'expansion d'un bon nombre d'aéroports urbains était devenu sérieusement limité à cause de la rareté croissante des terres, de la désapprobation publique et des débats politiques. Pour les mêmes raisons, il est devenu de plus en plus difficile de trouver de nouveaux sites d'aéroports près des centres urbains.

De nos jours, la même population urbaine en pleine croissance qui fait augmenter la demande

en services aéroportuaires est celle qui menace d'enrayer l'expansion ou la construction des aéroports. Le problème comporte deux volets.

En premier lieu, la forme des villes et l'étendue comme l'orientation de leur croissance gênent l'expansion des aéroports. L'urbanisation rapide du Canada au cours des dernières décennies s'est accompagnée d'un déplacement de la population et des industries, celles-ci cherchant à s'éloigner des centres-villes pour s'installer dans les banlieues nouvellement créées. L'effet multiplicateur du développement économique dans le voisinage des aéroports est aussi responsable de l'étalement résidentiel et des services à la population. Ce processus d'empiétement urbain s'est largement déroulé de façon quelque peu anarchique et non en fonction d'un plan bien défini. L'absence de règlements de zonage a fait que dans le voisinage de nombreux aéroports canadiens, l'utilisation des sols est absolument incompatible avec l'expansion des activités aéroportuaires. De plus, la demande en services aériens commerciaux a augmenté en même temps que les centres urbains se développaient et s'étendaient en direction des aéroports.

La deuxième manière par laquelle les populations urbaines et suburbaines agissent afin de prévenir la croissance des aéroports consiste à susciter l'opposition du public aux plans des aménageurs d'aéroport. La déception généralisée du public devant les décisions prises en matière de planification des transports a donné des résultats là où les planificateurs n'avaient pas réussi à expliquer ou à atténuer les effets du développement des transports sur la population. Un autre facteur qui explique la méfiance du public face aux décisions gouvernementales concernant les projets liés aux transports tient au fait que, par le passé, les autorités ont omis la participation du public au processus de planification (Association des routes et transports du Canada, 1977). Par suite de cette méfiance et des manifestations de plus en plus nombreuses de la part des groupes de citoyens ou des particuliers, les processus de planification aéroportuaire se sont élargis au cours des dernières années afin de comporter une période de consultation du public et faire une place à sa participation; on a aussi appris à en tenir compte et à évaluer les répercussions sur la population.

L'importance spatiale des aménagements aéroportuaires

Ce qui distingue les aéroports des autres formes d'aménagement, c'est la nature des répercussions dans l'espace. Comme les aéroports font partie d'un réseau de transports plus vaste, leur exploitation entraîne des répercussions spatiales dont la portée peut être considérée à différentes échelles géographiques. Les aéroports visent à faciliter les flux de transports locaux, régionaux et internationaux qui ont une importance dans l'espace.

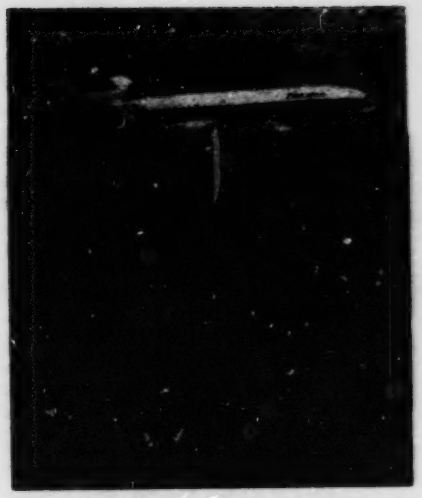


Photo 2. Au Canada, le premier vol d'un appareil plus lourd que l'air eut lieu à Baddeck (Nouvelle-Écosse) en 1909. Depuis lors, la création d'un réseau de transport aérien a facilité le transport des marchandises et le déplacement des voyageurs au Canada et dans le monde.
G. Thomas, Transports Canada

En termes géographiques, les aéroports fonctionnent en tant que noeuds à l'intérieur d'un réseau de transport. Les noeuds de transport sont les points d'origine ou de destination dans le mouvement des marchandises et des personnes d'un endroit à un autre. Les voies d'acheminement qui relient les différents noeuds de transport entre eux, de même que les déplacements des marchandises et des gens, sont connues sous le nom de liens de transport; par exemple, les routes et les chemins forment des liens de transport entre un aéroport et d'autres grands noeuds de transport de surface comme les terminus d'autobus ou les gares de chemin de fer. De la même façon, les parcours aériens qu'empruntent les avions d'un aéroport à un autre sont des liens de transport aériens. Les noeuds et les liens qui les relient forment ensemble des réseaux de transport.

Les réseaux de transport qui assurent la liaison avec les grands aéroports sont vastes et leur organisation spatiale est complexe; ils débordent les limites régionales et nationales. Dans le cas des services de courrier aérien, par exemple, le réseau de transport s'étend à tous les coins du globe. C'est grâce à leurs nombreux liens de transport de surface ou aériens que les aéroports contribuent au progrès de l'économie nationale en facilitant le commerce national et international.

La dimension fonctionnelle et spatiale des réseaux de transport présente un dilemme politique pour les planificateurs d'aéroports. D'une part, ce sont des entités indispensables pour la population, puisqu'ils assurent des services de transport essentiels et qu'ils contribuent à la prospérité de l'économie locale et de l'économie nationale. Par contre, il leur arrive d'être des entités incompatibles avec leur voisinage, en suscitant des contraintes sur des terres de grande valeur et en nuisant à l'environnement. Les décisions de planification relativement aux grands aéroports peuvent comporter des implications largement politiques puisqu'elles appartiennent au domaine de l'espace et que du fait même, elles ont un caractère interjuridictionnel. C'est donc dire qu'aucun organisme gouvernemental, ou juridiction, n'a entière compétence sur les décisions concernant l'aménagement des aéroports.

Le gouvernement fédéral du Canada, les gouvernements provinciaux et les administrations municipales ont chacun un rôle différent mais important à jouer dans la réduction des contraintes territoriales imputables aux aéroports. De manière générale, il appartient au gouvernement fédéral de gérer la planification, l'aménagement et l'exploitation de tous les grands aéroports internationaux et commerciaux du Canada de manière à réduire au minimum les effets nocifs sur l'environnement (Transports Canada, 1974*d*; 1980*a*). Les gouvernements provinciaux et les administrations municipales ont aussi un rôle important à jouer en matière de planification des transports pour ce qui est de gérer l'aménagement et l'exploitation de l'infrastructure de transport de surface des aéroports et ceci comprend les liaisons routières et les services de transport en commun à destination ou en provenance des aéroports. La juridiction provinciale ou locale sur les terres confère à ces pouvoirs publics la responsabilité, dans les faits, de réduire les incidences de l'aménagement aéroportuaire sur une région en contrôlant l'utilisation du sol au moyen de lois et de règlements de zonage et en assurant les services publics de distribution aux localités en voie d'expansion (Young, 1974; Neales, 1972; Pendakur, 1974).

Bien que ce soit le ministère fédéral des Transports qui entreprenne les travaux d'aménagement aéroportuaires des principaux aéroports canadiens, ses planificateurs d'aéroports doivent obtenir les accords nécessaires sur les questions qui relèvent d'autres juridictions. Les planificateurs d'aéroports fédéraux doivent donc chercher à coordonner leurs plans avec les plans régionaux de transport et d'utilisation du sol afin de réduire au minimum les conflits et les contraintes possibles sur le territoire. En guise d'exemple, on peut citer le choix du site de Pickering par les planificateurs d'aéroports fédéraux pour l'aménagement d'un deuxième aéroport international à Toronto, puisqu'il s'agit là d'un cas où la coordination entre les divers gouvernements responsables n'a pas été suffisante. Le gouvernement provincial de l'Ontario a finalement refusé d'autoriser le raccordement, par le gouvernement fédéral, de la voie d'accès en provenance de l'aéroport au réseau routier régional, en soutenant que les routes ne pourraient accepter un surplus de circulation aux

heures de pointe. Le projet d'aéroport était voué à l'échec puisque cette importante voie d'accès à la ville de Toronto était indispensable (Stewart, 1979). Si le processus original de sélection de l'emplacement avait été mené en collaboration avec les planificateurs des transports régionaux, ce conflit aurait pu être évité.

Le processus de planification axé sur la collaboration à des niveaux multiples, comme instrument de solution des conflits, constitue un phénomène récent au Canada. En tant que tel, ce processus n'est pas encore vraiment au point. En réalité, le pays ne connaît encore aucun mécanisme de liaison intergouvernementale pour la planification des transports.

Dans le cas des projets d'aéroport, le mode de liaison entre planificateurs est laissé à l'initiative des autorités aéroportuaires fédérales. Ainsi, à l'aéroport international de Vancouver, deux approches ont été employées au cours des dernières années. D'abord, en 1973, on a mis sur pied un Airport Planning Committee (APC), composé de représentants des gouvernements fédéral et provincial ainsi que des administrations régionales et municipales, de même que de particuliers des collectivités locales. Il appartenait dès lors à ce corps consultatif d'étudier dans quelle mesure les plans de l'aéroport étaient compatibles avec les intérêts de la planification aux différents niveaux administratifs du gouvernement et avec les intérêts de la population locale. L'information recueillie par le APC a ensuite servi à Airport Master Plan Project Team (l'équipe chargée du plan directeur de l'aéroport dans sa conception d'un plan directeur pour l'aménagement de l'aéroport de Vancouver). La seconde tentative de coordination amorcée par les autorités aéroportuaires de Vancouver a consisté à tenir des audiences publiques au cours desquelles la population a été invitée à commenter ou à critiquer le projet de plan directeur. Les suggestions provenant des divers organismes gouvernementaux de même que du public en général ont ensuite servi à améliorer et à réviser les plans provisoires. Toutefois, aucun de ces deux processus n'avait pour objet exclusif d'assurer la coordination dans la planification des transports et de l'utilisation du sol entre les différentes juridictions. Il ne s'agissait pas non plus d'assurer une liaison de planification continue et interjuridictionnelle.

Le reste de la présente étude peut être divisé en trois parties: la première a pour objet d'examiner certaines atteintes au milieu ainsi que les problèmes d'utilisation du sol liés à l'aménagement des aéroports fédéraux du Canada, en s'attachant aux problèmes tel qu'ils sont présentés et abordés. On n'a pas cherché à classer les atteintes au milieu selon l'importance ou la portée. Les incidences d'un aéroport varient avec son emplacement et l'importance de ses activités. L'importance relative de certaines contraintes sur le milieu dans le voisinage d'un aéroport donné dépendra nécessairement des conditions locales comme la vulnérabilité du milieu, la tolérance des particuliers et de la population en général ainsi que la perception des contraintes par la population. Comme les gestionnaires des aéroports signalent que les objections concernant le bruit représentant le plus grand nombre de plaintes reçues de la part des voisins des aéroports, cette question fait l'objet de considération plus détaillée. La partie suivante décrit le processus de planification et de gestion des aéroports à la lumière des considérations de protection de l'environnement; il y est aussi question de certains problèmes de gestion qui sont expliqués plus en détail grâce à plusieurs études de cas portant sur des aéroports fédéraux. La dernière partie sert à présenter les conclusions de l'étude en donnant un aperçu des perspectives d'avenir des aéroports canadiens.

CONTRAINTES SUR LES TERRES

Qualité de l'environnement

La nature des contraintes sur l'environnement

La qualité du milieu naturel dans lequel nous vivons est importante pour notre santé et pour notre épanouissement. À tous les stades de leur aménagement, les aéroports menacent de perturber la qualité de l'environnement: au cours du relevé de terrain initial, pendant la phase de construction et pendant toute la durée de l'exploitation.

Il existe une grande variation dans la nature, la forme et l'ordre de grandeur des contraintes potentielles imputables aux aéroports. Chaque aéroport possède un cadre physique propre. La relation spéciale qui existe entre l'aménagement des aéroports et le milieu naturel en un site donné constitue ce que Bryan (1975) décrit comme une interaction bidirectionnelle, c'est-à-dire que la nature des répercussions possibles des contraintes en un site aéroportuaire donné est étroitement liée à la nature des contraintes que le site impose à l'aménagement de l'aéroport. Par conséquent, le degré des atteintes au milieu imputables à l'aéroport dépendent, dans une large mesure, de l'importance des limites ou contraintes environnementales imposées à l'aménagement de cet aéroport. On peut constater cette relation dans le cas du prolongement des pistes de deux aéroports très différents comme l'aéroport international de Vancouver et l'aéroport de Régina.

La situation de l'aéroport de Vancouver dans l'estuaire et le delta écologiquement fragiles du fleuve Fraser pose une contrainte de taille à tout prolongement des pistes ou à tout agrandissement de l'aéroport. Ici, l'écosystème sensible possède une valeur élevée en tant que banque de ressources importantes. L'écosystème de l'estuaire et du delta du Fraser contribue à entretenir un grand nombre d'habitats marins et d'eau douce généralement fragiles qui comprennent un système productif biologique dans la chaîne alimentaire. On y trouve à la fois les espèces estuariennes les plus élémentaires comme le plancton, les invertébrés et les plantes, de même que les espèces de mammifères les plus complexes. Tout agrandissement de l'aéroport nécessitant des travaux de dragage, de remblayage ou de construction de digues pour rendre utilisables des terres pour des pistes d'envol pourrait se révéler extrêmement dommageable pour l'écosystème côtier. Les effets nocifs pour l'environnement de ce secteur pourraient entraîner des dégâts irréparables au milieu naturel et à tous les biosystèmes qu'il héberge. En outre, les divers utilisateurs des ressources qui comptent sur l'écosystème s'en trouveraient affectés, et les premiers concernés sont les exploitants de pêche commerciale de la Côte ouest ainsi que l'industrie des loisirs en général. Il est évident que le degré ou la gravité de ces contraintes sur l'environnement déterminent largement l'effet potentiel de l'agrandissement de l'aéroport dans ce site côtier.

À l'aéroport de Régina, où les atteintes au milieu imputables à l'agrandissement de l'aéroport sont moins importantes, le prolongement des pistes peut se faire sans donner lieu à d'aussi graves répercussions néfastes sur le milieu naturel. L'emplacement de l'aéroport de Régina dans les Prairies n'a exigé ni travaux d'assainissement des terres ni autres travaux perturbateurs comme le sautage, le remblayage ou le terrassement à grande échelle pour le prolongement des pistes. Chacun de ces deux sites illustre la relation bidirectionnelle qui existe entre la faisabilité écologique des activités aéroportuaires et la portée des incidences imputables à ces activités.

L'importance d'un choc dans un cas particulier ne fait qu'ajouter à la portée des contraintes sur l'environnement. Le degré du choc ne traduit pas nécessairement son importance. Il suffit de considérer l'exemple des deux aéroports cités plus haut. Dans les Prairies, le prolongement d'une piste peut gravement affecter l'écoulement des eaux pluviales des lieux, mais cet inconvénient peut s'avérer de moindre importance si un mauvais drainage ne cause pas de problèmes majeurs dans le secteur environnant. On assiste par contre à une situation inverse dans le cadre estuarien de l'aéroport international de Vancouver. À cet endroit, une contrainte mineure pourrait comporter de graves implications et être d'une importance capitale en ce qui concerne les ressources côtières extrêmement vulnérables. Autrement dit, une atteinte de faible importance dans un milieu fragile peut avoir une importance beaucoup plus grande qu'une attente de grande portée dans un milieu naturel moins vulnérable (Bryan, 1975).

Une autre distinction qu'il convient de faire entre la portée et l'importance des contraintes sur le milieu naturel a trait à leur mesure. Lorsqu'on cherche à discerner la portée d'une atteinte, la mesure est habituellement fondée sur des faits quantifiables. Toutefois, l'importance ou la portée d'une contrainte n'est pas toujours facile à identifier et nécessite un jugement de valeur arbitraire et qualitatif (Applied Marine Research Ltd., 1975; Bryan, 1975).

Avant de considérer plus attentivement la façon dont l'aménagement aéroportuaire peut porter atteinte aux divers éléments du milieu naturel, il faut d'abord étudier la nature de ces atteintes. Comme il a été dit plutôt, l'aménagement d'un aéroport entraîne des contraintes physiques qui se traduisent de façon directe ou indirecte. En outre, les contraintes peuvent avoir des répercussions à long terme ou à court terme, elles peuvent être ressenties immédiatement, de façon intermittente ou pendant une période prolongée. Les répercussions écologiques peuvent aussi modifier de façon irréversible le milieu naturel. Un bon nombre d'utilisations du sol se disputent les mêmes terres. Il en est ainsi des terrains plats et bien drainés et dont les sols ont une texture fine et un potentiel agricole élevé. Ces mêmes sols et leur modelé présentent aussi un intérêt certain pour la construction d'infrastructures comme les aéroports, les habitations et les industries. Sacrifier les richesses naturelles d'un secteur à l'aménagement d'un aéroport signifie la soustraction de ce secteur à un grand nombre d'autres utilisations. Une fois qu'un site aéroportuaire et ses espaces voisins ont été aménagés pour les besoins du transport aérien ou d'autres utilisations urbaines, ils sont soustraits à jamais à l'agriculture, aux loisirs, à la conservation ou à l'exploitation forestière.

Maintenant qu'a été établie une base conceptuelle pour la compréhension des relations qui existent entre l'aménagement d'un aéroport et les répercussions physiques connexes, il convient d'étudier de quelle façon l'exploitation d'un aéroport impose des contraintes sur le milieu naturel.

Comme on l'a vu plus haut, il existe trois grands stades d'aménagement des aéroports: le relevé de terrain initial, la phase de construction et l'exploitation de l'aéroport. Chacun des stades comprend une vaste gamme d'activités pouvant comporter des incidences sur le milieu naturel. Le cadre physique d'un site aéroportuaire peut être catégorisé en un grand nombre d'éléments de l'environnement. Dans un esprit de concision, nous ne traiterons toutefois que des plus grandes catégories d'activités d'aménagement aéroportuaire et d'éléments de l'environnement.

Les trois phases d'aménagement aéroportuaire comprennent les grandes catégories d'activités suivantes:

Photo 3. Les aéroports, tels que l'aéroport international de Toronto, occupent de grandes superficies plates qui, souvent, pourraient être avantageusement affectées à d'autres utilisations notamment l'agriculture. De plus, les aéroports attirent les entreprises spécialisées dans les communications et la haute technologie et celles du secteur des services qui occupent également de grandes superficies.
NFB-PHOTOTHEQUE-ONF, photo de George Hunter

Relevés de terrain
- —relevés hydrologiques et sondages
- —relevés topographiques
- —prospection pédologique et agrochimique
- —étude géologique des couches superficielles et de la roche de fond avec forage
- —évaluation du milieu marin et aquatique

Construction
- —établissement des installations pour le camp et le chantier de construction
- —coupe des arbres et enlèvement de la végétation
- —excavation du sol et dynamitage de la roche
- —décapage et dragage de la surface
- —nivellement et remblayage de la surface
- —transport et déplacement des véhicules
- —revêtement et mise en place des fondations en béton
- —érection des bâtiments
- —engazonnement et aménagement paysager
- —construction routière
- —construction de dispositifs d'évacuation des résidus liquides et solides

Exploitation aéroportuaire
- —entretien et réparation des aéronefs
- —déplacement des aéronefs et émissions des moteurs
- —circulation et stationnement des véhicules
- —dégivrage des chaussées et entretien des pistes y compris le déneigement
- —ravitaillement des aéronefs en carburant
- —exploitation des services: chaudières, incinérateurs, égouts et dispositifs d'évacuation des déchets
- —dispositifs d'écoulement des eaux pluviales
- —sécurité-incendie et procédure d'urgence

Les principales catégories d'éléments de l'environnement touchant l'aménagement des aéroports sont les suivantes:

1) flore, faune terrestre et avifaune,
2) habitat marin et aquatique et les espèces qu'on y trouve,
3) qualité et quantité des eaux de surface et des eaux souterraines,
4) sols, formations géologiques et éléments particuliers du paysage,
5) qualité de l'air.

Bien que les éléments de l'environnement ci-haut énumérés n'entrent pas tous dans ce qu'il est convenu d'appeler le territoire utilisable, leur perturbation conduit généralement à des contraintes percutantes sur le sol par l'altération indirecte de sa qualité. Les sols et les eaux sont des composantes intégrantes de l'environnement total. La discussion qui suit porte cependant avant tout sur les contraintes s'exerçant directement sur le sol.

Il serait fastidieux d'énumérer tous les travaux d'aménagement d'un aéroport et tous les éléments de l'environnement susceptibles d'être altérés. En effet, une évaluation des répercussions de l'aménagement d'un aéroport sur le sol et sur les formations souterraines porte sur un total de 140 activités aéroportuaires et de 123 éléments pédologiques et géologiques du milieu, le tout rassemblé dans une matrice, pour un total de 17 220 interactions possibles - chocs ou contraintes (Bryan, 1975). Des évaluations analogues ont été conçues pour les répercussions des aménagements aéroportuaires sur le milieu marin et aquatique (Applied Marine Research Ltd., 1975), et pour les éléments floristiques et faunistiques des environnements aéroportuaires (Thurlow and Associates, 1975).

Les implications des contraintes sur l'environnement

1) Relevé de terrain

De manière générale, le relevé initial et l'échantillonnage des sites propices à l'aménagement des aéroports ne donnent pas lieu à des contraintes de grande portée ou de grande importance. Habituellement, les techniques d'arpentage et d'essais sont appliquées à des stations précises ou au moyen d'installations qui ne causent que des perturbations de faible portée et confinées au peu d'espace utilisé.

Parmi les méthodes employées pour les relevés de terrain aéroportuaire, les plus perturbantes sont peut être celles qui font appel à des sondages par forage, comme c'est le cas pour les essais hydrologiques et l'exploration souterraine de la roche de fond. Mais même là, les répercussions des sondages sur l'hydrologie et les sols sont rarement graves et il est à peu près certain qu'elles ne présentent aucun risque d'entraîner des modifications dans l'utilisation du sol, en affectant sa valeur ou ses possibilités.

Il est plutôt étonnant que ce soit l'emploi de véhicules de transport tout terrain au cours des relevés de terrain qui cause les plus grandes contraintes sur le sol. Ces déplacements de véhicules hors-route peuvent endommager et détruire la végétation au sol, ce qui a pour effet d'endommager les sols en les exposant à l'altération climatique et à l'érosion. L'incidence des mouvements de véhicules dépend largement du type de sol et des conditions d'emploi, du moment du relevé et du mode de transport employé. La perturbation potentielle du terrain a une importance toute particulière dans les karsts du sud-ouest de l'Alberta et dans les thermokarsts des régions arctiques et subarctiques du Canada. Dans le Nord, même une faible perturbation du pergélisol continu ou discontinu peut avoir des conséquences graves. Une simple randonnée en voiture à travers une région reposant sur du pergélisol peut sembler inoffensive, mais donne lieu à des contraintes dévastatrices sur les terres: endommagement et destruction des plantes, fonte généralisée du sol pergélisolé, affaissement et effondrement du sol et érosion excessive du sol (Transports Canada, 1977*b*; Bryan, 1975; Thurlow and Associates, 1975). Dans un milieu aussi vulnérable, les répercussions du relevé de terrain peuvent facilement affecter les possibilités, l'utilisation et la valeur des terres.

2) Construction des aéroports

Parmi tous les travaux d'aménagement aéroportuaire, c'est la construction des installations qui, de loin, a les incidences les plus directes sur le territoire. Toutes les phases des travaux de construction des aéroports comportent des risques de contraintes sur les terres. Les répercussions directes les plus graves sont l'altération climatique et l'érosion du sol.

L'établissement d'un chantier de construction sur un site donne lieu au premier bouleversement des éléments naturels du paysage (Transports Canada, 1974*d*). Certains modes d'utilisation du sol ont déjà été dérangés par le remembrement des terres effectué au cours de la phase de planification de l'aéroport qui précède toujours les travaux de construction. Une fois qu'elles ont occupé l'emplacement, les équipes de construction entreprennent plusieurs opérations: des chemins d'accès, tantôt temporaires tantôt permanents, sont construits; des bâtiments temporaires, certains services et des aires de stockage sont aménagés; des dépôts d'ordure sont prévus et on entreprend de niveler le terrain. Ces stades initiaux de la préparation du site aéroportuaire endommagent, suppriment et enfouissent des étendues complètes d'habitats floristiques et faunistiques. Le dépouillement de la végétation de la surface des terres peut engendrer de nombreux effets; les conditions du sol sont rendues instables et propices à l'érosion, ce qui a pour effet de faciliter l'entraînement du limon, des solutions de lessivage pédologique et des éléments nutritifs dans les cours d'eau après les pluies abondantes, altérant ainsi la qualité de l'eau (Transports Canada, 1974*c*). L'exposition du sol par dépouillement dans des régions sèches ou sablonneuses y provoquera l'érosion éolienne, ce qui créera des dangers pour la visibilité tout en affectant les autres utilisateurs des environs.

L'enlèvement, l'enfouissement et l'érosion des couches superficielles fertiles peuvent être considérés comme des incidences physiques directes découlant des nombreux autres travaux de construction aéroportuaires. L'excavation du sol, son remblayage, le déplacement des véhicules, le revêtement de bitume, l'aménagement paysager et l'engazonnement font partie des principaux travaux de construction susceptibles de donner lieu à des contraintes sur le sol en réduisant sa capacité de production. L'importance de l'érosion du sol sur un site aéroportuaire dépend surtout des caractéristiques pédologiques locales et des conditions climatiques et topographiques. Peu importe les conditions du milieu, l'érosion reste la contrainte la plus grave et la plus fréquente sur les terres des sites aéroportuaires (Environmental Control Consultants, 1977; Applied Marine Research Ltd., 1975; Bryan, 1975; Thurlow and Associates, 1975). De plus, les dangers d'érosion du sol comportent des implications graves pour d'autres éléments de l'environnement. Les effets nocifs sur la qualité des eaux souterraines et de surface alimentant des populations de plantes, d'animaux, d'oiseaux et de faunes aquatiques peuvent perturber tous les stades de la chaîne alimentaire. Ce type d'obstacle constitue une grande menace pour la productivité et la capacité physique continue d'un secteur, de même qu'une contrainte pour d'autres utilisations précieuses des terres en question (Thurlow and Associates, 1975). Lorsque la qualité de l'eau d'une région est affectée, ce milieu devient impropre à l'homme, et partant à l'agriculture, à l'industrie, aux loisirs, aux utilisations domestiques ou aux plaisirs esthétiques (J.L. Richards & Associates, 1975).

3) Exploitation des aéroports

Lorsque les aéroports atteignent le stade où ils peuvent être exploités, la menace de contraintes sur les terres provient de toute une série d'activités différentes. En effet, l'exploitation d'un aéroport gêne la capacité de production des terres en altérant leurs écosystèmes, surtout par l'introduction de matières contaminantes dans le milieu local.

Photo 4. L'élimination de la végétation et des couches arables en vue de l'aménagement d'aéroports peut influer considérablement sur l'écosystème: l'habitat de la faune est détruit, le sol est exposé davantage à l'érosion, et le paysage est altéré. Transports Canada met en oeuvre des mesures dont l'objectif est de réduire les incidences des nouvelles installations.
Transports Canada

Le mouvement des aéronefs produit des émissions de matières polluantes, comme les hydrocarbures, le monoxyde de carbone, le soufre, les oxydes d'azote et les particules de suie, qui ont tous de grandes répercussions sur l'environnement. La pollution atmosphérique a des effets nocifs sur la flore, la faune et même la qualité des eaux locales (à cause des retombées de matières polluantes). Les répercussions physiques du déplacement des aéronefs sont une contrainte continue et à long terme (Hurtubise *et al.*, 1978; Environmental Control Consultants, 1977).

Les chaudières et les incinérateurs d'aérogare peuvent être la cause de retombées de soufre et d'oxyde d'azote, quoique ces retombées ne se produisent que par intermittence, suivant les conditions climatologiques qui règnent (vent, humidité et température).

Le dégivrage de surface, l'épandage du sable et le limonage contribuent aussi à introduire des corps étrangers sur les terres. L'emploi d'urée, de glycone, de sel et de sable pour maintenir les revêtements libres de glace entraîne divers effets sur la végétation, la faune et la qualité des eaux (Ferguson, 1977; Société multidisciplinaire d'études et de recherches de Montréal, Inc., 1975*a*). Certains produits de dégivrage favorisent la croissance des plantes et attirent les animaux tandis que d'autres gênent la vie des plantes et des animaux, réduisent la qualité des eaux et perturbent les écosystèmes. Le ravitaillement des aéronefs en carburant peut aussi être une opération dangereuse si on laisse des déversements importants se produire puisque

ceux-ci contamineront les réserves d'eau et endommageront la végétation des lieux.

Encore plus de déchets sont produits par les aéroports: huiles, détergents, graisses, sédiments, rejets solides, eaux d'égout, composés toxiques et mousses sont tous des produits qui pénètrent dans le milieu naturel par suite de l'entretien des aéronefs, de l'entretien des pistes, de la lutte contre les incendies, du déplacement et du stationnement des véhicules ainsi que des installations d'évacuation des résidus (Environmental Control Consultants, 1977). La production massive de déchets d'aéroports contribue à réduire la capacité de production des écosystèmes locaux et compromet ainsi la qualité de l'environnement (James F. MacLaren Ltd., 1975).

Les contaminants résultant de l'exploitation des aéroports sont néfastes pour les terres en réduisant la qualité des sols. Les dispositifs d'évacuation des eaux d'égouts et des déchets introduisent des éléments nutritifs et des produits toxiques dans le sol par la production de solutions de lessivage pédologiques. Les pratiques de lutte contre l'incendie, les écoulements accidentels de carburant et l'utilisation d'urée comme dégivreur produisent des répercussions de contraintes sur les sols et les matériaux du sol; ils peuvent de plus causer un déséquilibre dans la composition de leurs éléments nutritifs et chimiques. Lorsqu'il n'est pas régularisé, le ruissellement et le drainage pluvial provenant des surfaces revêtues des aéroports peuvent donner lieu à un lessivage excessif des éléments nutritifs du sol et laisser ceux-ci être entraînés dans les eaux souterraines (Bryan, 1975; J.L. Richards & Associates Ltd., 1971). Les effets à long terme de la contamination des sols, même intermittente, peuvent très bien être irréversibles.

Incidences des aéroports sur l'esthétique de l'environnement

L'homme accorde une grande importance à l'aspect du milieu naturel dans lequel il vit. La qualité de la vie est rehaussée par l'appréciation des beautés naturelles. Tout comme les aéroports constituent une menace physique pour les terres, ils en compromettent la valeur esthétique.

Dans leur description des lignes directrices relatives à la protection de l'environnement pour fins de planification aéroportuaire, un groupe d'analystes a défini les éléments d'intérêt esthétique et humain comme étant «les aspects de l'environnement qui possèdent un mérite spécial comme exemples de beauté artistique ou naturelle, les espaces dont la valeur repose sur leur qualité ou leur ambiance particulières, ainsi que les sites d'une région qui possèdent un intérêt éducatif, culturel, historique ou scientifique» (Société multidisciplinaire d'études et de recherches de Montréal, Inc., 1975*b*). Ce même groupe distingue les cinq éléments suivants en matière d'esthétique de l'environnement: 1) les aires sauvages de boisés, de broussailles, de boisés marécageux, de prairies, de montagne, de toundra ou d'autres habitats privilégiés; 2) les aires de qualité visuelle possédant des lieux d'intérêts ou des points de vue; 3) les postes d'observation et les points de vue; 4) les aires protégées ouvertes, comme les lieux historiques, les entités naturelles exceptionnelles et les sites culturels ainsi que 5) les sites à accès limité comme les zones désignées de conservation, de préservation, de fouille archéologique et les stations de recherches spéciales.

Il est extrêmement difficile de mesurer la valeur des éléments esthétiques de l'environnement en raison de la subjectivité inhérente. La perception de la qualité esthétique d'un endroit repose sur des jugements de valeurs personnels, qui subissent l'influence des caractéristiques politiques, culturelles et socio-économiques de la société, de même que par certains facteurs temporels. Néanmoins, l'importance de la qualité esthétique du Canada ne peut être ignorée; les Canadiens attachent assez de valeur aux beautés naturelles pour que celles-ci méritent leur protection.

Au cours de toutes les phases, l'aménagement des aéroports influe sur la beauté de l'environnement. Les répercussions varient de la même manière que pour les autres éléments de l'environnement, c'est-à-dire en importance, en ampleur et en degré. Il peut s'agir de répercussions instantanées et de courte durée, intermittentes ou continues et à long terme.

La portée peut être d'intérêt local ou national. En outre, la beauté de l'environnement peut être dimunée à la fois par les répercussions directes et les répercussions indirectes de l'aménagement des aéroports. La valeur des terres pour leur utilisation esthétique est fortement assujettie aux changements qui, dans le milieu naturel, découlent de la présence des aéroports.

Au cours de la phase de construction de l'aménagement d'un aéroport, on constate plus facilement la menace de changement ou de destruction physique des paysages esthétiques; cette menace peut résulter de la prise en charge directe des terres pour les installations aéroportuaires ou encore des répercussions indirectes qui influent sur le mode général d'utilisation du sol dans le voisinage du site (Ecologistics Limited, 1975*b*; Metropolitan Toronto and Region Conservation Authority, 1974).

La pollution (atmosphérique, aquatique, acoustique et visuelle) découlant des activités aéroportuaires peut aussi conduire à une détérioration des ressources esthétiques, en les rendant moins intéressantes pour certaines utilisations.

Même la phase de planification de l'aménagement d'un aéroport peut avoir des répercussions néfastes sur les qualités esthétiques. Ainsi, la spéculation foncière et les gels de transactions foncières donnent fréquemment lieu à la négligence des terres à valeur esthétique. Lorsqu'ils s'attendent à une expropriation ou à des travaux d'aménagement prochain sur leurs terres, les propriétaires fonciers et les sociétés de spéculation sont moins portés à s'occuper d'en maintenir la valeur esthétique. Une fois que l'expropriation a eu lieu, la qualité esthétique des terres peut continuer à être négligée sous la gestion du gouvernement fédéral. Avec les années, les 7 527 ha de terres agricoles de première valeur qui ont été expropriées pour l'aménagement du deuxième aéroport international de Toronto se sont gravement détériorés en ce qui concerne leur valeur esthétique depuis que ce projet a été annoncé pour la première fois (Speirs, 1979). Dans le canton de Pickering, les paysages de campagne autrefois agréables font aujourd'hui pitié et les bâtiments de ferme sont à l'abandon. C'est ce que Stewart (1979) appelle «une campagne désertée, une riche terre en friche».

Le bruit des aéroports et les terres

Parmi les nombreux problèmes de contraintes sur les terres liées aux activités aéroportuaires, le bruit des aéronefs est peut être le danger le plus évident et le plus pressant pour l'environnement. Depuis l'avènement des avions à réaction pour service commercial, vers la fin des années 50, le bruit des aéroports a déclenché des plaintes et des récriminations publiques soutenues. Si la population a tendance à se plaindre davantage au sujet de la pollution par le bruit que pour les autres types de pollution urbaine, c'est qu'elle peut déterminer plus facilement la cause de son inconfort et parce qu'elle possède, par conséquent, une cible pour ses objections. La source de la pollution par le bruit autour des aéroports est beaucoup plus facile à repérer que, par exemple, la source ou les sources de pollution atmosphérique dans les villes. La pollution par le bruit est aussi plus facile à percevoir que celle qui découle des matières polluantes; le bruit est immédiatement perçu dans l'environnement (Hurtubise *et al.*, 1978).

Au fur et à mesure de l'expansion de l'industrie aéronautique, la demande en trafic aérien et en installations aéroportuaires s'est accrue. Combinée aux tendances à l'étalement urbain et à l'expansion des localités autour des aéroports, la croissance du secteur aéronautique a donné lieu à un problème de bruit toujours croissant autour des aéroports. La fréquence et l'ampleur

"Je disais...on a de la chance...on nous a pas expropriés pour l'aéroport."

Norris - The Vancouver Sun

du bruit produit par les avions à réaction se sont accrues de façon constante depuis le début des années 60, affectant un nombre de plus en plus grand de personnes qui habitent à proximité des aéroports ou sous les trajectoires de vol (U.S. National Industrial Pollution Control Council, 1972; Stevenson, 1972; Bauman, 1971).

Le développement incroyable de l'industrie canadienne du transport aérien a vu augmenter considérablement le nombre de déplacements d'aéronefs dans les aéroports fédéraux. Les statistiques sur l'aviation compilées par Statistique Canada montrent une hausse de 95,6% dans les décollages et les atterrissages des aéronefs au cours de la décennie allant de 1967 à 1977.

Du point de vue des chiffres réels de mouvements d'appareil - décollages et atterrissages - les contrôleurs du trafic aérien des 60 principaux aéroports de Transports Canada se sont occupés d'un total de 6 487 127 mouvements d'appareils au cours de l'année 1976, comparativement à 4 895 376 mouvements dans les 53 aéroports fédéraux qui existaient en 1971 et à 3 316 740 mouvements dans les 33 principaux aéroports qui existaient en 1967 (Alberta, Environment Council of Alberta, 1979).

En raison de la croissance importante de l'aviation canadienne, le problème du bruit dans les aéroports constitue aujourd'hui l'une des premières contraintes sur l'environnement qui influe sur l'aménagement des futurs aéroports à travers le pays. Les possibilités de construction de nouveaux aéroports ainsi que l'agrandissement des sites actuels, sont d'ores et déjà limités ou bloqués en raison des protestations publiques contre le bruit produit par les aéroports. L'inquiétude générale de la population au sujet du bruit des aéroports est de deux ordres: en premier lieu, on s'interroge au sujet des effets nocifs de la pollution sonore sur les êtres humains et la faune; le bruit peut affecter la santé psychologique et physiologique des personnes, peut déranger la faune et bouleverser le comportement animal (Alberta, Environment Council of Alberta, 1979; Harvey *et al.*, 1979; Communauté de travail pour les enquêtes socio-psychologiques sur le bruit des avions, 1974; Stevenson, 1972; U.S. Department of Housing and Urban Development, 1972). La seconde préoccupation des collectivités à propos du bruit des aéroports tient à la concurrence qui règne au sujet des terres dans le voisinage des aéroports; certaines utilisations du sol sont carrément incompatibles avec les activités aéroportuaires. Les bruits d'aéroport peuvent nuire à certaines utilisations du sol étrangères à l'aéronautique, en restreignant leur développement ou en imposant des coûts financiers dus à la baisse de valeur des terres pour une telle utilisation. C'est plus particulièrement le cas lorsque les aménagements domiciliaires dans le voisinage des aéroports peuvent être limités indirectement par le bruit par suite des règlements de zonage imposés à cause de ces aéroports, ou peuvent subir une dépréciation comme conséquence directe de la pollution acoustique.

La production, la propagation et la mesure du bruit dans les aéroports

Simplement exprimé, le bruit est un son indésirable. Selon l'Alberta Environment Council (1980*b*), «le bruit possède toutes les caractéristiques d'un polluant de l'environnement. Il nous touche à la fois sur le plan biologique, psychologique, social et économique.» Les études sur le bruit menées dans plusieurs villes du Canada indiquent que le secteur des transports représente la principale cause de pollution par le bruit dans le pays, ce qui constitue de loin la plus grande entrave aux activités pour un nombre appréciable de Canadiens (Environnement Canada, 1976*b*).

De nos jours, ce sont les moteurs qui constituent la principale source de bruit dans les aéroports. Le bruit produit par les moteurs d'avions est généralement fonction de leur puissance. Les avions les plus puissants, et par conséquent les plus bruyants, sont les avions à réaction: les avions à turbo-réacteurs et les avions à réacteurs à double flux. L'autre classe d'avions, moins bruyants, est celle des appareils possédant des moteurs à pistons et des moteurs à turbo-propulseur (Hauer, 1972). Le bruit fait par les avions à pistons et à turbo-propulseur résulte le plus souvent du mouvement des hélices d'avions et, dans une moindre mesure, de l'échappement des moteurs. Avant la mise en service des avions à réaction commerciaux, le bruit produit par les avions à hélices ne provoquait pas d'objections graves de la part des populations locales, mais avec la mise en service des avions à réaction par la société de Havilland Aircraft en Grande-Bretagne et par la maison Boeing aux États-Unis, l'ère des problèmes de bruit dû aux avions commençait (Bauman, 1971). L'année 1958 a marqué une étape dans l'histoire de l'aviation canadienne, puisque c'est au cours de cette même année qu'ont eu lieu le premier vol transatlantique d'un avion à réaction commercial, la mise en service des avions à réaction au Canada ainsi que la première enquête gouvernementale officielle au sujet des problèmes de bruit dans un aéroport canadien, soit l'aéroport de Malton à Toronto. Par la suite, la réaction négative de la population au bruit des aéroports a pris la forme d'un nombre incalculable de plaintes et de poursuites devant les tribunaux (Mary, 1975; McNairn, 1972).

Le bruit des moteurs à turbo-réacteurs est causé par le cisaillement turbulent de l'air par les gaz qui s'échappent à grande vitesse. Le son produit par ce mélange violent augmente avec la vitesse d'échappement croissante jusqu'au point

où peuvent se produire des ondes propres aux avions supersoniques. Les ondes de choc se produisent au moment où la vitesse d'échappement dépasse la vitesse ambiante du son (Alberta, Environment Conservation Authority, 1976; Bauman, 1971).

Les avions à turbo-réacteurs classiques sont aujourd'hui remplacés par des avions à réaction commerciaux possédant des moteurs à réacteurs à double flux, beaucoup moins bruyants. Les moteurs à réacteurs à double flux ont permis d'abaisser les niveaux de bruit grâce à leurs vitesses d'échappement plus faibles et à un mélange prolongé ou diffus entre l'échappement de l'avion à réaction et l'atmosphère environnant (Alberta, Environment Council of Alberta, 1979; Mary, 1975; Hauer, 1972; McNairn, 1972). Malheureusement, le nombre accru de mouvements d'appareils qu'ont connu les principaux aéroports a eu pour effet d'annuler les progrès techniques obtenus dans le domaine des moteurs moins bruyants (R.L. Walker and Partners, 1975). Le voisinage des aéroports est soumis à des intensités croissantes d'exposition au bruit malgré l'existence du moteur à réacteurs à double flux.

La propagation ou la diffusion des bruits d'avion à partir de leur source jusqu'aux populations touchées est influencée par plusieurs facteurs comme les conditions atmosphériques de température, de vent, de pression et d'humidité, par la distance que le son a à parcourir et par la présence de barrières sonores naturelles comme les boisés ou les terrains accidentés (Alberta, Environment Council of Alberta, 1979; Hauer, 1972).

À la lumière du court exposé qui précède concernant la nature de la production et de la propagation du bruit des aéroports, la mesure du bruit des aéroports et sa relation avec l'utilisation du sol peuvent être mieux comprises. Les moyens actuels de mesurer le bruit des aéroports au Canada font appel à un système de prévision d'ambiance sonore (NEF), c'est-à-dire une technique qui tient compte de différents aspects de la sensibilité humaine au bruit. Comme les activités humaines liées aux différentes utilisations du sol sont intolérantes à certains niveaux de bruit, le système NEF peut aussi servir à déterminer la compatibilité des utilisations du sol à l'exploitation des aéroports. Les mesures de NEF fournissent un indice ou une échelle de nuisance basée sur des considérations de niveaux de décibels perçus, d'heure et de durée des passages d'avion, de la fréquence des tonalités sonores ainsi que du nombre d'émissions sonores (Hurbutise *et al.*, 1978; Ontario, Ministère du Logement, 1978). Plus la valeur de NEF est élevée, plus la nuisance pour les activités humaines est grande.

Les calculs de la valeur de NEF peuvent être effectués pour n'importe quel endroit précis dans le voisinage des aéroports en service et des valeurs peuvent aussi être déterminées pour les nouveaux emplacements. Une telle information se présente bien mieux sous forme de cartes à isolignes comme on en trouvera un exemple à la figure 1. La préparation des isolignes de NEF, ou «empreintes sonores», pour les aéroports fédéraux est aujourd'hui une pratique courante de la part de l'Administration canadienne des transports aériens ainsi que de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, dont l'intérêt porte sur les utilisations domiciliaires du sol à proximité des aéroports (Société centrale d'hypothèques et de logement, 1978; Transports Canada, 1978*b*).

La détermination de la tolérance humaine à toute quantité numérique donnée de NEF s'appuie sur des études des réactions psychologiques et physiologiques au bruit. Le système peut être adapté pour les besoins de lignes directrices de compatibilité des utilisations du sol, une fois que les effets nocifs de certains niveaux de bruit de NEF sur les individus ont été identifiés. Par exemple, toute valeur dépassant 35 NEF est susceptible de comporter des conséquences négatives pour la santé des individus qui y sont exposés sur une base quotidienne. Il s'ensuit que certaines utilisations du sol, comme les aménagements résidentiels, les parcs et les institutions, seraient classés incompatibles dans des secteurs exposés à 35 NEF et plus. Des valeurs de NEF ont été énumérées ou ordonnées en tableaux à partir tant du point de vue des réactions de la population (tableau 2) que de celui de la compatibilité des utilisations du sol (tableau 3).

FIGURE 1.
Carte d'isolignes de bruit (NEF) d'un aéroport à piste unique

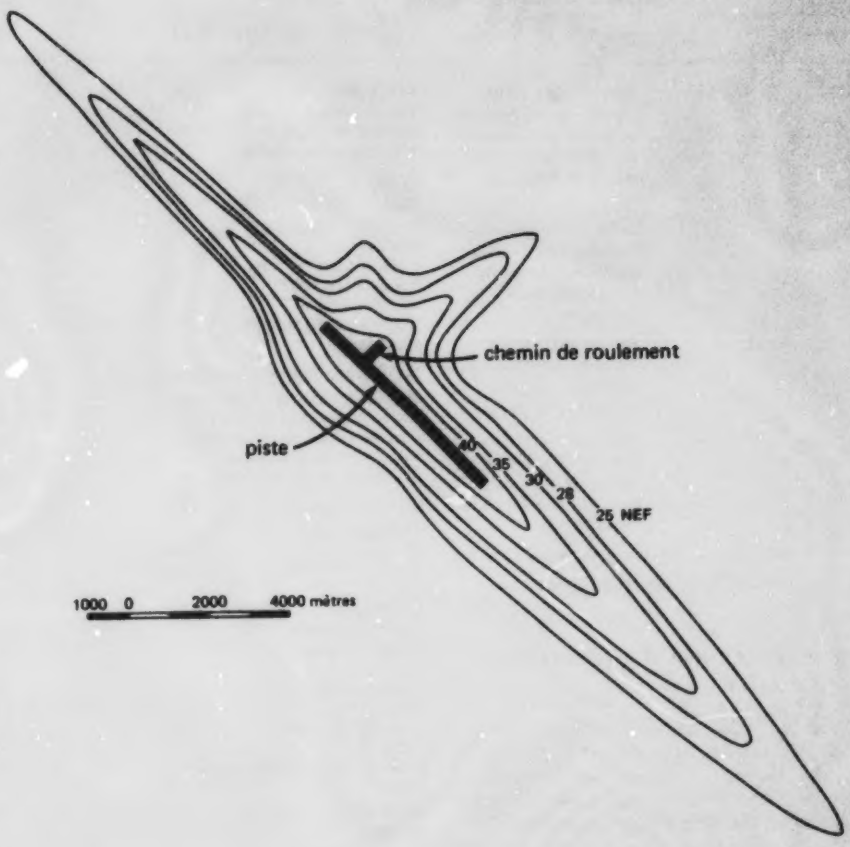


TABLEAU 2.
Prédictions généralisées des réactions de la population à l'exposition au bruit

Aire d'exposition au bruit	Prédictions des réactions de la population
Plus de 40 NEF	Probalité de plaintes répétées et énergiques de la part de particuliers. Possibilité de concertation et de poursuites.
35-40 NEF	Plaintes individuelles et parfois énergiques. Possibilité d'interventions groupées et de représentations auprès des pouvoirs publics.
30-35 NEF	Plaintes individuelles allant de sporadiques à répétées. Possibilité d'intervention groupée.
Moins de 30 NEF	Plaintes sporadiques possibles. Il arrive parfois que le bruit gêne certaines activités des résidants.

Source: Transports Canada, 1978*b*.

Le bruit des avions et les contraintes sur les terres

Comme la plupart des utilisations du sol impliquent un certain degré d'activité humaine et que les activités humaines sont sensibles à l'exposition au bruit, il s'ensuit que la plupart des utilisations du sol sont susceptibles d'être affectées par le bruit. C'est justement l'incompatibilité du bruit des aéroports avec certaines activités humaines et les utilisations du sol connexes qui donnent lieu à des conflits et à des contraintes sur les terres.

D'après Harvey *et al.* (1979), Reid (1977) et Crowley (1972), le conflit qui existe au sujet du bruit, entre les aéroports et les utilisateurs insatisfaits des terres voisines, peut être qualifié de déséconomie externe. Le bruit des aéroports constitue un coût externe pour les individus et les diverses utilisations du sol divergentes qui sont situées dans le voisinage de l'aéroport. La nature d'une déséconomie externe est d'imposer des coûts et des effets nocifs à différents membres de la société sans rien apporter en retour, si bien qu'on peut s'attendre à une répartition inefficace des terres entre les utilisations divergentes. Le résultat de la déséconomie externe de bruit peut être tel qu'une trop grande proportion des terres soit accordée au secteur des transports aériens avec ses utilisations connexes tandis qu'une trop faible quantité de ces mêmes terres ira à des utilisations du sol moins bruyantes (Reid, 1977). Le bruit des aéroports peut donc être considéré comme un fléau de l'environnement qui compromet la valeur économique d'une région pour certaines utilisations.

Cependant, il faut reconnaître que pour les services et les industries qui dépendent du transport aérien, la déséconomie externe du bruit est compensée par les avantages que la proximité d'un aéroport rend possible. Par exemple, les services de traiteurs aériens et l'industrie hôtelière tolèrent facilement le bruit des aéroports en raison des avantages économiques que leur procure la proximité de ces aéroports.

TABLEAU 3.
Tableau de compatibilité des utilisations du sol suivant le NEF

Utilisation du sol	*Valeurs prévisionnelles* d'exposition au bruit (NEF) >40	40-35	35-30	<30
Résidentiel				
Isolé et jumelé	–	–	()	()
Maisons en rangée	–	–	()	()
Immeubles d'habitation	–	–	()	()
Public				
Écoles	–	–	()	()
Églises	–	–	()	()
Hôpitaux	–	–	()	()
Centres d'hébergement	–	–	()	()
Salles de spectacle	–	–	()	()
Bibliothèques	–	–	()	()
Centres communautaires	–	–	()	()
Cimetières	()	()	()	()
Services municipaux de distribution				
Groupes générateurs d'électricité	+	+	+	+
Stockage du gaz et de l'huile	+	+	+	+
Ramassage des ordures ménagères	+	+	+	+
Traitement des eaux usées	+	+	+	+
Traitement et stockage des eaux	+	+	+	+
Loisirs de plein air				
Terrains de sport	–	()	()	+
Stades	–	–	()	+
Théâtres de verdure	–	–	–	()
Hippodromes	–	()	()	+
Autodromes	+	+	+	+
Champs de foires	()	()	+	+
Terrains de golf	+	+	+	+
Plages et piscines	+	+	+	+
Courts de tennis	–	()	+	+
Terrains de jeux	()	()	+	+
Ports de plaisance	+	+	+	+
Campières	–	–	–	()
Parcs et terrains de pique-nique	–	()	+	+
Commercial				
Bureaux	()	()	()	+
Magasins de détail	()	()	+	+
Restaurants	()	()	()	+
Cinémas et théâtres	–	()	()	+
Hôtels et motels	–	()	()	+
Terrains de stationnement et stations-services	+	+	+	+
Entrepôts	+	+	+	+
Marchands travaillant à l'extérieur	()	()	+	+

De nombreuses études ont été menées pour évaluer les effets du bruit des aéroports sur la valeur des terres adjacentes. La plupart d'entre elles ont porté surtout sur la valeur foncière des propriétés domiciliaires, mais des résultats contradictoires ont été obtenus. L'hypothèse de travail voulant qu'il existe une corrélation définie entre le bruit des avions et la dévaluation foncière a été tout autant confirmée qu'infirmée dans la documentation consultée.

Parmi les premières études entreprises, la plus connue est la recherche de Walther (1960) qui a porté sur les répercussions du bruit des aéroports sur la valeur immobilière des propriétés

TABLEAU 3.
Tableau de compatibilité des utilisations du sol suivant le NEF–*suite*

Utilisation du sol	Valeurs prévisionnelles d'exposition au bruit (NEF) >40	40-35	35-30	<30
Industriel				
Usines et ateliers	()	()	+	+
Gares de triage et chantiers navals	+	+	+	+
Cimenteries	()	()	+	+
Carrières	+	+	+	+
Raffineries	()	()	+	+
Laboratoires	–	()	+	+
Cours à bois	+	+	+	+
Scieries	()	()	+	+
Transports				
Routes	+	+	+	+
Chemins de fer	+	+	+	+
Terminaux maritimes	+	+	+	+
Aérogares	()	+	+	+
Agricole				
Exploitation culturale	+	+	+	+
Jardins maraîchers	+	+	+	+
Pépinières	+	+	+	+
Propriétés forestières de production	+	+	+	+
Pâturage à bétail	()	+	+	+
Exploitation avicole	()	()	+	+
Parcs à bestiaux	()	+	+	+
Fermes laitières	()	+	+	+
Parcelles d'engraissement	()	+	+	+
Fermes à fourrure	()	()	()	()

Légende:

+ Le signe [plus] indique que les utilisations du sol ne sont pas considérées comme étant affectées par le bruit des avions.

– Le signe [moins] indique que les utilisations du sol sont considérées comme réfractaires au bruit des avions.

( ) Les [parenthèses] correspondant aux utilisations du sol qui peuvent être considérées comme compatibles dans certaines situations et dans certaines conditions.

Source: Adaptation de Transports Canada, 1978*b*.

avoisinantes. L'étude de Walther, effectuée à New York et à Chicago, a permis de constater qu'il existait une différence négligeable dans les valeurs foncières attribuables aux répercussions des aéroports. Des recherches ultérieures ont généralement confirmé les premières constatations de Walther (Mary, 1975). Au nombre des travaux semblables, il faut signaler l'étude de Crowley effectuée en 1972 et qui a porté sur l'aéroport international de Toronto. Bien que Crowley en arrive à la conclusion que le bruit des aéroports n'ait aucun effet à long terme sur la valeur immobilière des propriétés, il fait cependant observer qu'il existe une dépréciation à court terme du prix des terrains résidentiels pendant ce que l'on peut appeler des «périodes de choc» au moment où des appareils plus bruyants sont mis en service. Crowley fait aussi observer que certains résidants sensibles au bruit sont en mesure de vendre leur propriété pendant les périodes de choc au cours desquelles se produisent des changements, ce qui permet aux personnes indifférentes au bruit et aux utilisateurs du sol concurrents de s'installer dans le secteur touché. La valeur des terres finit ainsi par remonter, aux dépens toutefois des utilisateurs du sol sensibles au bruit. Il est important de souligner que ce processus engendre des répercussions précises à long terme sur les modes d'utilisation du sol, c'est-à-dire sur ce que Crowley appelle en anglais «econoscape».

Gautrin (1975), un des rares analystes à confirmer l'existence d'une petite dépréciation dans la valeur des propriétés par suite du bruit des aéroports, fait aussi observer qu'il existe une tendance chez les gens sensibles au bruit à quitter les environs des aéroports. Pour ces résidants, le coût véritable du bruit des aéroports ne comprend pas seulement la perte de valeur de leur propriété, mais aussi les frais de déménagement, d'achat d'une nouvelle maison ainsi que les coûts moins tangibles de contraintes sociales (Hurtubise *et al.*, 1978; Gautrin, 1975).

Une des études plus récentes qui a permis de constater une dévaluation des propriétés situées à proximité d'un aéroport montre que la valeur des propriétés d'Edmonton a été dépréciée de 13 millions de dollars en 1976 à cause du bruit dû aux avions et provenant de l'aéroport municipal d'Edmonton, les niveaux de bruit en question dépassant 20 NEF (McMillan *et al.*, 1979). La détermination de cette dévaluation de la valeur des propriétés s'est appuyée sur un «facteur d'actualisation dû au bruit» dans lequel une perte procentuelle de la valeur des propriétés a été attribuée à chacune des hausses unitaires de NEF (Alberta, Environment Council of Alberta, 1980*a*). Dans l'étude portant sur l'aéroport municipal d'Edmonton, on a constaté que les facteurs d'actualisation dus au bruit se sont accrus progressivement avec les niveaux croissants de bruit en NEF. On a constaté que la dévaluation foncière s'accroissait de façon exponentielle avec le niveau de bruit en NEF à partir d'un facteur d'actualisation de 0,1% à 20 NEF jusqu'à 1,8% à 35 NEF. Par conséquent, une maison exposée à 35 NEF a été évaluée comme étant jusqu'à 8,3% moins chère qu'une résidence exposée à 20 NEF.

En faisant appel à un facteur d'actualisation dû au bruit analogue, une autre étude a été entreprise pour estimer la dévaluation annuelle totale des maisons des Albertains par suite du bruit des aéroports. En comparant les isolignes de NEF avec l'information tirée du recensement de 1976 concernant la population et le nombre de ménages, on a estimé que 38 000 demeures albertaines étaient exposées à des niveaux sonores dépassant 25 NEF. Pour ces 38 000 ménages, la dépréciation annuelle due au bruit des avions a été grossièrement évaluée à entre 8 et 12 millions de dollars suivant les conditions qui existaient en 1976 (Alberta, Environment Council of Alberta, 1980*a*).

Ces évaluations du facteur d'actualisation dû au bruit viennent contredire les conclusions auxquelles en était arrivé Mary (1975) pour le même aéroport albertain étudié par McMillan *et al.*, (1979). Non seulement Mary avait constaté que les propriétaires n'avaient aucune raison de craindre une dépréciation de leur pro-

priété dans le voisinage de l'aéroport municipal d'Edmonton, mais il s'est aussi trouvé en mesure d'indiquer dans son rapport que les propriétés se trouvant dans le secteur affecté par le bruit avaient augmenté de valeur plus rapidement que les demeures situées dans des quartiers plus tranquilles. Mary en est donc venu à la conclusion que la valeur des propriétés résidentielles peut en réalité être relevée par la proximité d'un aéroport malgré les effets du bruit. Les constatations de Mary viennent appuyer la position voulant que le coût du bruit ne puisse se traduire par une diminution de la valeur des propriétés en raison de l'élasticité du marché foncier et de la demande en logement; le nombre de résidants indifférents au bruit et qui sont prêts à venir habiter à proximité des aéroports a donc tendance à compenser les inconvénients possibles (Harvey *et al.*, 1979; Gautrin, 1975; R.L. Walker and Partners, 1975; Canada, Commission d'enquête sur l'aéroport, 1974; Communauté de travail pour les enquêtes socio-psychologiques sur le bruit des avions, 1974).

Évidemment, un certain degré de confusion et d'incertitude entoure les questions de répercussion du bruit des aéroports sur la valeur des propriétés situées dans leur voisinage. La difficulté de prouver qu'il existe une corrélation directe entre le bruit et la dévaluation foncière a également été démontrée devant les tribunaux, par des particuliers qui ont inscrit des poursuites juridiques contre les exploitants d'aéroports. La plupart des tentatives des propriétaires fonciers pour avoir gain de cause dans des revendications pour dommage dû au bruit en invoquant la violation de propriétés, les nuisances ou la contamination due au bruit n'ont pas connu de succès.

La majorité des poursuites en droit coutumier contre des aéroports canadiens ont été rejetées par les tribunaux en raison de la très grande difficulté de démontrer que des négligences ou des perturbations s'étaient produites (Mary, 1975; Bauman, 1971). En outre, un environnement calme n'est pas, dans les faits, un droit juridique de propriété en vertu du régime de droit coutumier (Reid, 1977).

Les poursuites les plus efficaces qui ont été entreprises pour lutter contre la pollution par le bruit des aéroports sont celles qui ont été menées à l'extérieur des tribunaux par des législations statutaires (McNairn, 1972). La réglementation gouvernementale concernant le bruit dans les aéroports et ses implications sur l'utilisation du sol, la valeur et les possibilités des terres font actuellement l'objet de discussions.

Problèmes d'utilisation des terres

Urbanisation, infrastructure et aménagement régional

Lorsqu'est venu le temps de construire un aéroport pour la ville de Toronto en 1937, l'emplacement rural de Malton a été retenu parmi un certain nombre d'autres choix possibles parce que «à l'époque, on estimait que ce secteur resterait toujours au-delà de toute surface construite» (Canada, Commission d'enquête sur l'aéroport, 1974). Depuis son achèvement en novembre 1938, l'aéroport torontois de Malton a assisté à la progression constante du paysage urbain tout autour de ses limites. D'après Stewart (1979), «la Province n'a nullement découragé le développement autour de l'aéroport, en réalité, elle l'a plutôt favorisé...» et cela malgré la volonté des premiers planificateurs de l'aéroport. De nos jours, l'emplacement de Malton pour l'aéroport international de Toronto chevauche les confins municipaux fortement urbanisés entre les villes de Toronto et de Mississauga; on peut dire que le secteur est aujourd'hui «bâti».

Il existe trois aspects à l'empiétement de l'urbanisation au voisinage des aéroports. Il y a d'abord l'exode rural considérable auquel les Canadiens se sont livrés à un rythme accéléré depuis les années 40. Cette tendance, combinée à la croissance démographique naturelle et à l'affluence des nouveaux immigrants vers les villes, a donné lieu à un essor urbain à travers le pays et à une expansion des villes au-delà des aéroports qui étaient auparavant situés à l'extérieur des limites des villes (Isbester *et al.*, 1970).

En deuxième lieu, il y a les contrôles de zonage inappropriés. D'une part, les municipalités péri-urbaines n'ont pas toujours réagi efficacement à la nécessité d'un zonage compatible avec la proximité d'aéroports par suite des pressions qui étaient exercées sur elles pour faire augmenter leur base de taxe et pour rendre les terres disponibles à la croissance de la population urbaine (McNairn, 1972). D'autre part, aux endroits où les municipalités ont mis en oeuvre des contrôles de zonage autour des anciens aéroports, à la suggestion de certains directeurs d'aéroport, ces contrôles sont devenus insuffisants pour venir à bout des activités des aéroports agrandis (R.L. Walker and Partners, 1975).

Troisièmement, et peut-être l'influence la plus dommageable pour les modes d'aménagement des terres au voisinage des aéroports, il y a les aéroports eux-mêmes. Un aéroport est tout de suite un catalyseur de croissance pour la population et l'urbanisation ainsi qu'une force magnétique favorisant le développement dans sa direction (Groupe de travail sur la gestion aéroportuaire, 1979). Le processus dessine une tendance récente par laquelle certaines activités locales (à caractère commercial, industriel ou concernant les services) ont été d'abord engendrées par la demande de l'industrie et du transport aérien pour une infrastructure de soutien (Pendakur, 1972). La disponibilité en terres de banlieue relativement économiques à proximité des aéroports a eu pour effet d'y attirer des industries reposant sur les transports aériens et liées à l'aviation dans le voisinage des aéroports. D'autres industries ont suivi, étant attirées par la proximité d'un aéroport en raison de l'accessibilité à une infrastructure découlant de l'existence de l'aéroport, c'est-à-dire des voies d'accès, des services publics ainsi que des installations de service préalablement destinées à répondre aux besoins de l'aéroport. Ces entreprises ont multiplié les possibilités d'emploi sur place ainsi que le développement secondaire découlant de l'effet multiplicateur engendré par les dépenses de salaire dans le secteur. Les possibilités d'emploi contribuent aussi à accroître rapidement la demande de logement à proximité des aéroports, ce qui favorise la spéculation foncière et le lotissement nécessaire aux aménagements domiciliaires. À leur tour, les aménagements résidentiels nécessitent la mise en place de services publics complémentaires comme les centres commerciaux et d'autres établissements commerciaux, des installations de loisir, des écoles et des hôpitaux (Isbester *et al.*, 1970). Après un certain temps, les services locaux existants, comme les usines de traitement des eaux usées municipales ou le réseau municipal de voies de circulation peuvent se trouver surchargés. L'infrastructure locale doit alors être étendue afin de répondre aux besoins régionaux (Transports Canada, 1977*d*; R.L. Walker and Partners, 1975; Pendakur, 1972; Vance, 1972).

Pour attester de la force d'attraction des aéroports, on trouve la récente étude Bennett (1980) dont le titre est The Impact of Toronto International Airport on the Location of Offices. Dans cette étude, Bennett démontre que les commerces sont portés à s'établir à proximité des grands aéroports en raison de l'accès facile aux transports aériens et parce que la nature de certaines affaires repose justement sur cette proximité. Les constatations particulières de Bennett au sujet de l'aéroport international de Toronto indiquent que les activités de bureau reposant sur les transports, les services techniques ainsi que les bureaux de fabricants en provenance surtout de l'étranger sont tout particulièrement portés à s'installer à proximité d'un aéroport par suite de leur dépendance des transports aériens. Parmi les autres constatations intéressantes de Bennett on peut mentionner que les bureaux plus récents, c'est-à-dire ceux qui ont été établis depuis 1974, sont plus portés à s'installer à proximité de l'aéroport de Malton (l'aéroport international de Toronto). Cette observation pourrait bien indiquer que l'attraction des aéroports est plus forte que jamais pour certaines entreprises.

En raison de leurs répercussions sur les économies locales et les modes d'utilisation du sol du milieu immédiat, les aéroports jouent un rôle important dans l'aménagement régional. Le fait que les répercussions économiques et celles de l'utilisation du sol soient perçues comme avantageuses ou non par la population locale

Photo 5. En 1936, on décida de fonder la société Trans Canada Airlines et de construire un aéroport à Toronto. On choisit l'emplacement de Malton: 567 ha au milieu d'un secteur agricole. Les installations, terminées en 1938, comprenaient un hangar et un bâtiment agricole qui abritait à la fois les services de communications et de météorologie et servait également d'aérogare. Ces photographies aériennes, qui datent de 1946, montrent la vocation agricole de la région de Malton. ▲

A9667-37, A9667-40, A9667-43. Photographies originales fournies par la Direction des levés et de la cartographie d'Énergie, Mines et Ressources Canada

Photo 6. Après la Seconde Guerre mondiale, on dut construire un nouvel aérogare et un hangar en raison de l'accroissement de la circulation aérienne. Durant les années 1960 et 1970, on continua d'agrandir les installations pour répondre à la demande. En même temps, la région métropolitaine de Toronto s'étendait vers l'ouest en direction de l'aéroport. Depuis 1980, des zones urbaines entourent les installations modernes de l'aéroport international de Toronto qui font figure de géant à côté des bâtiments originaux. ▼

A-25381-217. Photographie originale fournie par la Direction des levés et de la cartographie d'Énergie, Mines et Ressources Canada

dépend surtout de la mesure dans laquelle ils peuvent concilier les objectifs régionaux de développement avec l'existence de l'aéroport (R.L. Walker and Partners, 1975). Il appartient aux autorités régionales de réagir aux contraintes découlant de l'existence d'un aéroport contre des utilisations du sol incompatibles ou non rentables en offrant des possibilités de substitution par des utilisations compatibles. La mesure dans laquelle des objectifs régionaux sont atteints à l'intérieur d'un tel cadre permettra ultimement de déterminer la façon avec laquelle les répercussions d'un aéroport sont perçues par une région. En d'autres termes, une évaluation par la population des avantages et des inconvénients découlant de l'existence d'un aéroport est fortement influencée par les compensations entre les occasions de perte pour certaines utilisations du sol et les nouvelles possibilités de gain économique.

Bien qu'il soit impossible de mesurer avec exactitude la contribution d'un aéroport au développement économique et à la croissance industrielle d'une région, les planificateurs d'aéroport ont cherché à donner un aperçu des gains économiques en termes de possibilités d'emploi découlant des activités aéroportuaires (Transports Canada, 1977*d*; Ecologistics Limited, 1975*a*). L'emploi local découlant directement de la construction et de l'exploitation d'un aéroport peut être identifié et quantifié facilement. Les possibilités d'emplois directs générés sur les lieux d'un aéroport sont énumérées au tableau 4. L'effet multiplicateur des aéroports sur la croissance économique peut représenter un ordre de grandeur supérieur même aux possibilités d'emplois indirects. Suivant la société Ecologistics Limited (1975*a*), on estime que le nombre de possibilités d'emplois indirects oscille entre 1,0 et 2,0 fois le nombre d'emplois directs créés par l'aéroport. Dans une étude sur l'emploi effectuée pour l'aéroport de Dorval à Montréal, il a été constaté que les possibilités d'emploi indirect étaient d'environ le double de celles des emplois directs (Transports Canada, 1977*d*). Une autre étude, dont l'existence a été signalée par le Groupe de travail sur la gestion aéroportuaire (1979), a constaté qu'il existait un multiplicateur d'emploi indirect de 1,5 pour chacun des emplois existants à l'aéroport international de Toronto.

Une étude des activités découlant de l'existence d'un aéroport qui génèrent des emplois indirects permet de déterminer approximativement quel est le type de changement auquel on pourrait s'attendre dans le voisinage pour ce qui est de l'utilisation du sol. Les activités énumérées au tableau 5 font état du genre d'aménagements qui ont occupé de grandes bandes de terrain dans le voisinage des grands aéroports. À l'aéroport international de Toronto situé à Malton, l'effet multiplicateur a donné lieu à ce que l'on a appelé «le phénomène du chemin de l'aéroport» (Ecologistics Limited, 1975*a*); on y

TABLEAU 4.
Activités liées aux opportunités d'emploi découlant directement de l'existence des aéroports

Pendant la construction des aéroports	Pendant l'exploitation des aéroports
Aménagement du terrain	Construction en cours
Construction du réseau routier et des voies d'accès	Entretien du terrain
Installation des services	Exploitation des avions
Aménagement paysager	Maintenance et révision des avions
Construction des bâtiments	Exploitation des compagnies aériennes
	Activités de l'aviation générale
	Personnel administratif
	Stockage et manipulation du carburant
	Activités relatives aux passagers et au fret
	Concessionnaires (alimentation et autres)
	Transport au sol

Source: Transports Canada, 1977*d*.

TABLEAU 5.
Activités liées aux opportunités d'emploi découlant indirectement de l'existence des aéroports

Pendant la construction des aéroports	Pendant l'exploitation des aéroports
Fourniture de matériaux de construction	Hôtels et motels
Location de matériel	Centres de congrès et d'exploitation
Services d'experts-conseils	Services d'alimentation et de traiteur
Fourniture de biens et de services pour les employés des aéroports	Location d'auto
	Fabrication de matériel et approvisionnement en matériaux
	Vente de biens et services pour les besoins de l'aéroport, p. ex. matériel de bureau
	Fourniture de biens et services aux employés des aéroports
	Transport au sol
	Agence de voyage
	Terminaux de fret aérien
	Terminaux de camion
	Postes de taxi et terminus d'autobus
	Compagnies de transport de fret aérien
	Centres de distribution de marchandise en gros
	Construction d'aéronef et fabrication de pièces
	Atelier de réparation des aéronefs
	Écoles de pilotage
	Écoles des compagnies aériennes
	Compagnies de levés aériens
	Laboratoires de recherche et d'essai aéronautiques
	Stations-services
	Boîtes de nuits
	Banques
	Centres commerciaux
	Loisirs
	Usine de textile
	Confection de vêtements
	Imprimerie et maisons d'édition
	Fourniture de produit métallique
	Accessoires d'auto et services aux automobilistes
	Fourniture de matériel électrique
	Firmes de produits chimiques

Source: Adaptation de Transports Canada, 1977*d*.

trouve des hôtels, des boîtes de nuit, des traiteurs, des stations-services, des terminaux de camion, etc. Au-delà du chemin de l'aéroport, dans la localité voisine de Mississauga, d'autres grands développements fonciers reflètent le même effet multiplicateur des aéroports.

Les recherches que Pendakur (1972) a entreprises il y a une décennie au sujet de huit grands aéroports canadiens (Halifax, Montréal, Ottawa, Toronto, Winnipeg, Edmonton, Calgary et Vancouver), ont permis de constater que leur influence générale sur l'économie de la population voisine était avantageuse. Toutefois, s'il est déjà arrivé que les avantages de posséder un aéroport ont dépassé les inconvénients et les désagréments en découlant, il devient de plus en plus évident que dans certains cas la situation inverse s'est fait sentir (Young, 1976). Laissé à lui-même, l'aménagement des terres sur une grande échelle à la périphérie des aéroports a donné lieu à des conflits d'utilisation du sol d'une ampleur considérable. Lorsque des contrôles d'utilisation du sol n'ont pas dès le départ admis un degré ultime de développement, les aéroports se sont retrouvés emprisonnés et incapables de s'étendre. Les aménagements des terres autrefois perçus comme souhaitables et compatibles par les pouvoirs publics régionaux et les directeurs d'aéroport semblent aujourd'hui être incompatibles sur une période à long terme. Le développement économique régional donne lieu à une dynamique d'utilisation du sol par laquelle certaines utilisations, (comme l'agriculture ou l'habitation), seront soit éliminées ou amenées à supporter des coûts en désagréments en raison de leur incapacité de concurrencer le marché foncier de la région aéroportuaire, ou par suite de leur incompatibilité avec les activités aéroportuaires. C'est là la nature des compromis en jeu entre les utilisations divergentes du sol au voisinage des grands aéroports.

Restrictions d'utilisation des terres

Pour deux raisons bien évidentes, il est nécessaire d'appliquer des mesures de réglementation relative à l'utilisation du sol et l'aménagement des terres dans le voisinage des aéroports. La première de ces raisons tient au besoin d'assurer la sécurité de la navigation malgré le péril aviaire, les facteurs de mauvaise visibilité (fumée, poussière et vapeur), les obstacles élevés et l'interférence électronique qui gênent les aides à la navigation. La seconde raison tient à la réduction des conflits soulevés par les aspects sanitaires et les nuisances dues au bruit des aéroports.

Bien que l'Administration canadienne des transports aériens (ACTA) cherche à minimiser les conflits concernant le bruit entre les aéroports et leurs voisins immédiats, cet organisme n'a aucun pouvoir pour agir sur les utilisations du sol incompatibles. La responsabilité de l'utilisation du sol relève des gouvernements provinciaux et des administrations municipales ou régionales grâce à leur pouvoir de mettre en oeuvre des plans directeurs régionaux, de réglementer le lotissement, d'adopter des règlements de zonage et de légiférer de manière à rendre les utilisations compatibles.

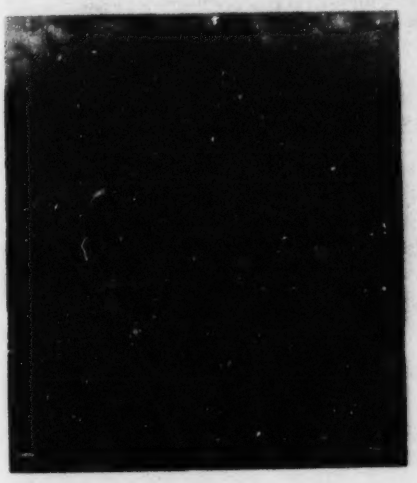


Photo 7. Dans le cas d'aéroports anciens, tels que celui de Dorval, les quartiers résidentiels voisinent avec les installations de transport aérien.
G. Thomas, Transports Canada

Comme l'empiétement urbain sur les aéroports a été fréquemment laissé sans solution dans le passé, il existe aujourd'hui certaines limites à l'efficacité de l'appareil de contrôle de l'utilisation du sol. Les mesures de contrôle concernant l'utilisation du sol ne peuvent éliminer le problème du bruit lié à l'empiétement une fois que celui-ci s'est produit. Toutefois, au cours des années 70, on a assisté à une amélioration notable de la planification en matière d'utilisation du sol, laquelle a permis d'empêcher efficacement toute extension d'utilisation existante qui était incompatible et la conversion continue des terres rurales autour de certains aéroports. Il est aujourd'hui devenu pratique courante pour les provinces d'exiger que les plans directeurs régionaux tiennent compte des incompatibilités d'utilisation du sol en s'appuyant sur les niveaux de NEF déterminés par Transports Canada. Par exemple, en Ontario, toutes les propositions d'utilisation du sol à proximité des aéroports doivent être conformes aux lignes directrices d'utilisation du sol compatibles au NEF, tel que recommandé par l'ACTA dans le document intitulé Land Use in the Vicinity of Airports (Ontario, Ministère du Logement, 1978). La figure 2 illustre le type de table de compatibilité dans l'utilisation du sol suivant le NEF employé en Ontario.

Une autre protection contre les utilisations du sol incompatibles nous est fournie par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), laquelle possède une politique permettant de refuser le financement d'une nouvelle demeure dans des secteurs où le niveau de NEF dépasse 35 (Société centrale d'hypothèques et de logement, 1978). Cette politique d'utilisation résidentielle du sol est appliquée à la grandeur du Canada.

La législation provinciale la plus complète régissant l'utilisation du sol pour les populations habitant au voisinage des aéroports est celle de la «Airport Vicinity Protection Area» adoptée par la province de l'Alberta en 1975. En s'appuyant sur des critères de niveaux de NEF et de risques liés à la sécurité d'exploitation, l'Alberta a déterminé des limites autour des aéroports internationaux de Calgary et d'Edmonton, de même que pour d'autres aéroports municipaux, lesquels assurent que tout nouvel aménagement des terres sera conforme à des lignes directrices d'utilisation du sol compatible, que les utilisations du sol dans les secteurs zonés tels que permis, permis sous condition ou interdits (Alberta Planning Act Regulation 291/75, 1975). Pour se conformer aux normes de la SCHL, les règlements de l'Alberta Airport Vicinity Protection Area stipulent en outre que toute résidence construite en deçà de l'intervalle 25-30 NEF doit être munie d'isolant acoustique et d'équipement de ventilation (Alberta, Environment Council of Alberta, 1980*a*).

Les restrictions d'utilisation du sol présentent un dilemme dans la planification suivant la meilleure utilisation possible des terres du point de vue des pouvoirs publics régionaux. Ceci fait contraste avec l'approche des directeurs d'aéroport qui souhaitent assurer l'accessibilité des terres voisines non aménagées pour les futurs besoins d'expansion de l'aéroport. Dans la détermination d'un niveau ultime de développement à proximité des aéroports, les administrations locales doivent déterminer si l'emploi le plus avantageux des terres signifie l'utilisation la plus profitable dans la préservation à court ou à long terme des espaces naturels, récréatifs, agricoles et autres pour l'agrément des générations à venir (Alberta, Environment Conservation Authority, 1975*b*; Martin, 1972; McNairn, 1972).

Bien que ce dilemme de planification oppose toutes les juridictions possédant des pouvoirs sur l'utilisation des terres urbaines, qu'on y trouve un aéroport ou non, il est particulièrement important en ce qui a trait aux aéroports pour lesquels le rythme de développement et la conversion d'utilisation du sol qui s'ensuit peut être rapide. Le problème de planification de l'utilisation du sol au voisinage des aéroports est encore accentué par le fait que la seule présence d'un aéroport a pour effet de modifier la nature des demandes d'utilisation du sol. En servant

FIGURE 2.
Tableau de compatibilité des utilisations du sol suivant le NEF en Ontario

UTILISATIONS DU SOL	VALEURS PRÉVISIONNELLES DE L'EXPOSITION AU BRUIT (NEF) 0 28 30 35 40
Résidentiel, parc d'usage passif, école, bibliothèque, église, théâtre, salle de spectacle, hôpital, centre d'hébergement, campière ou terrain de pique-nique	
Hôtel, motel, magasin de détail ou services, commerçant, bureau, terrain de sport, stade, terrain de jeux, piscine extérieure	
Industriel, entrepôt, patinoire intérieure, agriculture générale, élevage	

Utilisation du sol tout à fait acceptable

Intervalle discrétionnaire lorsque le bruit peut imposer certaines restrictions ou limites sur l'utilisation du sol

Utilisation du sol normalement inacceptable

Source des données: Ontario, Ministère du Logement, 1978.

Photo 8. Un réacté du Ministère des Transports survole une maison construite spécialement à des fins de recherche pour déterminer les meilleurs matériaux isolants destinés à la construction à proximité des aéroports. Il s'agit d'un projet coopératif auquel participent le Conseil national de recherches, la Société centrale d'hypothèques et de logement et le Ministère des Transports.
Canapress

de catalyseur à d'autres aménagements des terres, les grands aéroports contribuent à rehausser la valeur des terres environnantes à des fins non agricoles, ce qui réduit évidemment les possibilités d'exploitation agricole ou d'autres exploitations nécessitant un espace libre. La spéculation foncière qui se produit à l'occasion de la demande d'aménagement réelle ou anticipée a tendance à faire grimper la valeur des terres à un point tel qu'elles deviennent hors d'atteinte des exploitants agricoles. L'agriculture y devient alors non rentable. Lorsque les marchés fonciers en sont rendus à ce point, il est alors extrêmement difficile pour les pouvoirs publics régionaux de venir à bout de l'opposition locale aux restrictions de lotissement envisagées et au zonage pour l'agriculture et les autres activités nécessitant un espace libre (Stewart, 1979; Young, 1974; McNairn, 1972).

PLANIFICATION DES AÉROPORTS ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Politiques, lignes directrices et mesures de réduction

L'ACTA et la politique de protection de l'environnement des aéroports

L'Administration canadienne des transports aériens (ACTA) définit son objectif fondamental, celui «de fournir des installations et des services aéronautiques sûrs et efficaces compatibles avec la protection de l'environnement, tout en essayant dans la mesure du possible de récupérer les dépenses engagées» [c'est l'auteur qui souligne]. (Transports Canada, 1980*a*). Dans le même sens, l'ACTA a élaboré des «lignes directrices» et des «normes» rigoureuses de protection de l'environnement pour tous les aspects et toute la procédure des activités aéroportuaires.

Une «norme» de protection de l'environnement se définit comme étant une instruction que tous sont tenus de respecter, par exemple: «Des mesures temporaires pour la suppression de l'érosion et de la pollution seront utilisées afin d'empêcher et de rectifier au besoin les conditions qui se présentent dans les travaux de construction, et comme protection intérimaire en attendant l'établissement de mesures permanentes» (Transports Canada, 1976*a*). Certaines normes de protection de l'environnement peuvent aussi correspondre à ce qui est prévu par la loi (Transports Canada, 1980*a*).

Tandis que les normes sont générales, les «lignes directrices», elles, prévoient des instructions précises sur la façon d'assurer la protection de l'environnement en décrivant des contraintes d'aménagement et une procédure pour maîtriser les répercussions potentielles. En guise d'exemple de ligne directrice visant la lutte contre l'érosion on peut citer le passage suivant: «On devrait assurer l'écoulement des eaux de surface en dérangeant le terrain le moins possible. Les canaux d'évacuation devraient être revêtus ou protégés par la végétation pour empêcher l'érosion» (Transports Canada, 1980*a*). En outre, certaines lignes directrices sont conformes aux exigences de la loi des ministères fédéraux et provinciaux; par exemple, les lignes directrices qui s'appliquent à la pollution atmosphérique des aéroports font état d'une loi fédérale en matière de pollution atmosphérique de même que de lois adoptées par chacune des dix provinces, le Yukon et les Territoires du Nord-Ouest en matière de limitation des émissions qui s'appliquent à chaque cas. Lorsque les normes fédérales et provinciales de lutte contre la pollution diffèrent entre elles, il appartient à l'ACTA de faire appliquer la législation la plus sévère (Transports Canada, 1977*a*).

La documentation à l'appui des lignes directrices de l'ACTA concernant l'environnement pour la planification des aéroports Transports Canada, 1977*b*, 1977*d*), leur conception (Transports Canada, 1977*c*, 1980*a*), leur construction (Transports Canada, 1976*a*, 1980*a*) et leur exploitation (Transports Canada, 1976*b*, 1977*a*) est complète et obligatoirement volumineuse. De plus, comme certaines normes de protection de l'environnement sont soumises à des changements, par exemple à mesure qu'on disposera de plus de renseignements au sujet des répercussions sur l'environnement, les lignes directrices de l'ACTA seront constamment modifiées, révisées et enrichies. La documentation est encore plus abondante du fait des lignes directrices prévues pour des projets d'aéroports particuliers.

Afin de se conformer au Processus d'évaluation et d'examen de l'environnement (qui fait actuellement l'objet de discussions), l'ACTA a conçu un cadre pour la mise en oeuvre d'une politique de protection de l'environnement. Ce cadre prévoit de quelle manière la protection de l'environnement peut être obtenue à différents stades d'aménagement des aéroports.

Au cours des phases d'implantation, de planification et de conception qui se succèdent au cours de l'aménagement d'un aéroport, la clé de la protection de l'environnement se trouve dans les études d'évaluation des répercussions nocives possibles sur les milieux naturel et social. Comme ces évaluations comprennent des recommandations sur la façon, à partir de zéro, de réduire les effets nocifs potentiels, on peut s'attendre que la planification et la conception des aéroports permettra de minimiser les répercussions néfastes sur les terres. Dans un même temps, le choix du site particulier pour un nouvel aéroport à partir d'autres emplacements possibles correspond au choix idéal permettant un moindre endommagement de l'environnement - c'est là un choix par lequel les effets négatifs pour l'environnement et les contraintes sont les moindres par rapport à celles qui ont été constatées dans des emplacements de substitution. Un tel idéal est difficile à atteindre dans la réalité, surtout si l'on tient compte de la difficulté de prévoir et de déterminer la portée des répercussions possibles.

Au cours de la phase de construction, l'ACTA met en oeuvre une politique de protection de l'environnement; il s'agit de s'assurer que «on veillera à la construction ou à la mise en place des installations destinées à la protection de l'environnement...» et que «on veillera au respect des mesures de protection de l'environnement (lutte contre la poussière, l'érosion, la pollution atmosphérique et la pollution des eaux)...» (Transports Canada, 1980*a*).

Dans toutes les exploitations d'aéroport, l'ACTA poursuit la mise en oeuvre de la politique de protection de l'environnement en respectant les normes de protection de l'environnement adoptées par les gouvernements fédéral et provinciaux et en mettant en vigueur «des mesures acceptables du point de vue de l'environnement seront mises en vigueur» (Transports Canada, 1980*a*). L'efficacité du mode l'environnement contre les répercussions négatives est en outre assurée à ce stade au moyen d'un dispositif de surveillance continue (Transports Canada, 1977*a*). Il est toutefois important de noter que le programme de surveillance est avant tout axé sur le contrôle (par des essais) de la pollution atmosphérique, de la pollution des eaux et de la pollution sonore, et que ce programme ne s'applique pas à tous les aéroports de l'ACTA. La détermination des aéroports devant faire l'objet d'une surveillance s'appuie sur des critères liés au nombre de mouvements des avions, à la fragilité de l'environnement et à la quantité de contaminants introduits, p. ex. les dégivreurs chimiques des pistes (Transports Canada, 1976*b*).

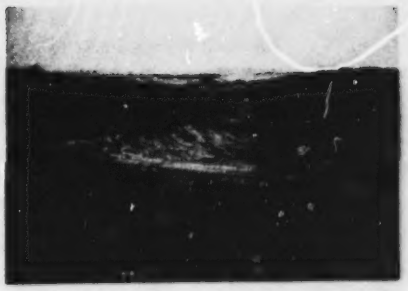


Photo 9. Avant l'élaboration de politiques et de lignes directrices à l'égard de l'environnement, on ne tenait pas suffisamment compte des incidences des aéroports sur les autres utilisations des terres. Cette photo, qui date de 1960, montre un bulldozer travaillant au remplissage d'un marais.
Transports Canada

Le processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement

Répartir des terres entre les différentes utilisations concurrentes tout en protégeant la qualité de l'environnement nécessite l'intervention d'un certain type de corps décisionnel pour résoudre les conflits d'intérêt. Un tel organisme de réglementation existe et porte le nom de Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales (BFEEE). Par définition, tout projet d'aménagement foncier faisant appel à des fonds fédéraux ou à des terres fédérales, ainsi que tout projet lancé par le gouvernement fédéral, doit tenir compte de la procédure du BFEEE. Les projets d'aéroport sont par conséquent liés au Processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement (PEEE) par suite de leur initiation par l'ACTA ou de leur recours à une aide financière fédérale.

Plusieurs études consacrées à l'environnement et plusieurs descriptions des répercussions font partie du PEEE. La première étape du processus consiste à effectuer le tamisage préliminaire d'un projet d'aéroport par l'initiateur du projet. Dans le cas des aéroports fédéraux, l'agent responsable du tamisage préliminaire doit être une administration régionale de l'ACTA, dont il existe six bureaux à travers le pays. Si, par suite du tamisage, on n'entrevoit aucune répercussion négative liée au projet, ou si les répercussions négatives anticipées sont jugées insignifiantes, la mise en oeuvre du projet peut alors se poursuivre sans autres consultations auprès du PEEE (Hurtubise *et al.*, 1978). On peut s'attendre à ce type de situation dans le cas d'un aménagement d'aéroport comme c'est le cas pour l'addition d'un bâtiment à l'aérogare. Même dans un cas semblable, l'initiateur du projet doit quand même chercher à prévenir ou à réduire les répercussions négatives pour l'environnement qui ont été identifiées à l'occasion des travaux de tamisage et il doit chercher à respecter tous les règlements applicables qui visent la protection de l'environnement.

La deuxième étape du PEEE consistant à préparer une évaluation initiale de l'environnement (EIE) est absolument nécessaire dans tout projet d'aéroport à incidences sur l'environnement. Par exemple, un projet de construction de piste d'une grandeur donnée doit avoir fait l'objet d'une EIE (Transports Canada, 1977*d*). L'exposé d'une EIE donne une évaluation générale des effets néfastes possibles de l'aménagement proposé et évalue si oui ou non il faut entreprendre une déclaration des impacts sur l'environnement (DIE), soit la troisième étape des travaux du PEEE. C'est au cours de cette dernière étape du PEEE qu'une étude détaillée des répercussions possibles sur l'environnement déterminera l'approbation ou le renvoi final d'un projet.

Pour les besoins de la DIE, l'ACTA a déterminé deux catégories d'environnement ainsi que les éléments qui les composent (Transports Canada, 1977*d*):

<u>Milieu naturel</u>

Plantes et animaux

Vie aquatique

Air ambiant

Eaux souterraines et de surface

Bruit ambiant

Éléments spéciaux

<u>Milieu social</u>

Emploi et niveaux de revenu

Services communautaires

Utilisation du sol

Biens récréatifs

Intérêts humains

Bien-être individuel

Après avoir comparé l'importance relative de ces éléments de l'environnement pour déterminer plusieurs options de rechange pour l'aménagement envisagé (ou, dans le cas du choix d'un site aéroportuaire, pour la comparaison des sites possibles), l'ACTA indique quelle est l'option d'aménagement qui est préférable. À ce point de la DIE, c'est le moment de se consacrer à la tâche considérable qui consiste à identifier avec précision les interactions possibles parmi les éléments de l'environnement qui précèdent et une construction perturbatrice particulière et certaines activités d'exploitation. La meilleure façon d'envisager les interactions possibles consiste à les ordonner dans une matrice, en plaçant les éléments de l'environnement et les interventions liées au projet le long de l'autre axe. Les tableaux 6 et 7 illustrent deux matrices à différents niveaux de détail. L'ACTA recommande cette méthode pour la détermination des répercussions possibles du projet et pour l'identification des mesures appropriées afin de minimiser les conséquences sur l'environnement (Transports Canada, 1977*d*). L'identification des mesures de réduction pour les répercussions possibles constitue une des principales fonctions de la DIE.

TABLEAU 6.
Matrice-échantillon des répercussions sur l'environnement - nombre minimal de détails

Éléments de l'environnement	Activités liées aux projets d'aéroports		
	Essais de relevé de terrain	Construction	Exploitations
Milieu naturel			
Flore et faune			
Flore et faune aquatiques			
Air ambiant			
Eaux souterraines et de surface			
Bruit ambiant			
Éléments spéciaux			
Milieu social			
Emploi et niveau de revenu			
Services communautaires			
Utilisation du sol			
Disponibilités pour les loisirs			
Intérêts humains et esthétiques			
Bien-être de l'individu			

Sources: Adaptation de Société multidisciplinaire d'études et de recherches de Montréal Inc., 1975*d*, et Transports Canada, 1977*d*.

Au nombre des autres principaux éléments du PEEE, il y a la considération des attitudes du public face au projet d'aménagement. La participation publique à l'évaluation de l'environnement dans les projets d'aéroport constitue une partie intégrale tant de l'étude de la DIE de son examen par le BFEEE. Conformément à sa politique générale consistant à faciliter la consultation du public au cours de toutes les étapes de planification et d'exploitation des aéroports, l'ACTA attache beaucoup d'importance à l'intérêt anticipé ou observé du public dans la détermination de la portée des répercussions possibles identifiées à l'occasion de la DIE. «L'ACTA pour sa part continuera de suivre sa politique, c'est-à-dire qu'elle consultera le public dès l'amorce du processus de planification d'un projet, qu'il faille ou non créer une commission d'évaluation environnementale» (Transports Canada, 1979).

Une participation plus poussée du public dans l'évaluation d'un projet d'aéroport se produit hors du processus de planification de l'ACTA, au cours des travaux du jury du PEEE. Après avoir mis à la disposition de la population touchée la documentation sur la DIE de l'ACTA concernant les répercussions possibles du projet sur l'environnement et les mesures d'atténuation, le jury du PEEE spécialement formé doit considérer leurs réactions au projet par voie d'audiences publiques et de représentations écrites. L'ACTA définit «public concerné» pour fins de consultation comme étant: le secteur privé du transport aérien; les ministères et organismes fédéraux, provinciaux, territoriaux et municipaux, les usagers des services de l'ACTA, les collectivités, le monde des affaires, les groupes d'intérêt spéciaux, les groupes sociaux, les organisations et les individus, les gouvernements étrangers ainsi que les organisations et associations internationales (Transports Canada, 1979.

À la suite de l'examen de la DIE effectué par le jury du PEEE et la prise en considération des réactions du public face à cet examen, un rapport définitif est préparé par le BFEEE pour préciser les recommandations du jury en faveur ou contre l'approbation du projet. Le jury du PEEE peut recommander que le projet puisse se dérouler comme prévu ou que son déroulement soit soumis à des conditions déterminées, ou encore qu'il soit interrompu au nom de la protection de l'environnement. Au nombre des conditions déterminées, on peut mentionner certaines exigences de protection de l'environnement pour la conception, la construction et l'exploitation des installations aéroportuaires, le besoin d'études plus poussées ou des mesures d'atténuation, ou encore certaines exigences relatives à la surveillance de l'environnement pour les besoins du projet. Le rapport définitif du jury du PEEE et la liste des recommandations sont ensuite soumis au ministre de l'Environnement qui doit prendre une décision finale sur la valeur du projet.

Planification de l'utilisation des terres des aéroports

À part les considérations de planification concernant les répercussions du bruit sur l'utilisation du sol au voisinage des aéroports, l'ACTA se charge d'identifier quatre autres types de restrictions d'utilisation du sol imposées pour des raisons de sécurité d'exploitation (Transports Canada, 1977*d*). Il s'agit des restrictions suivantes:

1) restrictions d'utilisation du sol liées à la sécurité de la navigation aérienne découlant du péril aviaire;
2) restrictions relatives à la bonne visibilité - sécurité de navigation découlant de la fumée, de la poussière et de la vapeur;
3) restrictions concernant la hauteur des bâtiments pour assurer la sécurité des trajectoires d'approche et de décollage;
4) restrictions régissant l'interférence électronique causée par les radios, radars et autres systèmes de contrôle de la navigation.

Le tableau 8 donne une liste partielle des utilisations du sol qui peuvent être soumises à des restrictions ou nécessiter des changements par suite des craintes exprimées concernant la sécurité de l'exploitation.

La planification des aéroports de l'ACTA prend en considération deux domaines de répercussions possibles concernant l'utilisation du sol: les zones d'influence aéroportuaire sur place et l'extérieur. Pour l'aménagement d'un nouvel aéroport, le domaine compris à l'intérieur des limites prévues est d'un intérêt primordial. Ici, l'occupation du sol et la conversion de la propriété est complète. On peut s'attendre à des changements absolus dans l'utilisation du sol pour toutes les activités incompatibles, mais certaines utilisations compatibles ne font pas toujours l'objet d'une conversion, particulièrement certains types d'utilisations agricoles qui

TABLEAU 7.
Matrice-échantillon des répercussions sur l'environnement - nombre moyen de détails

Éléments et éléments secondaires de l'environnement	Mesure											
	Activités de construction	Coupe des arbres et essouchement	Sautage et excavation	Décapage et dragage	Remblayage et nivellement	Halage	Asphaltage	Bétonnage	Érection et finition des bâtiments	Engazonnement et aménagement paysager	Ramassage des ordures et nettoyage
Utilisation du sol											
Résidentiel											
Public											
Commercial											
Industriel											
Services municipaux et distribution											
Loisirs de plein air											
Transports											
Agricole											
Paysages naturels											
Disponibilités recréatives											
Zones de ski											
Zones de plage											
Parcs											
Terrains de golf											
Zones de chasse et de pêche											
Aires de nature sauvage											
Zones de villégiature											
Autres disponibilités récréatives											

Sources: Adaptation de Transports Canada, 1977*d*.

restent permises sur les lieux de l'aéroport. Les terres agricoles qui sont achetées ou expropriées pour les besoins propres de l'aéroport ou pour constituer une banque de terre appelée à servir de barrière de protection contre le bruit, peuvent être louées par des utilisateurs intéressés. Ainsi, un grand nombre de cultivateurs des environs de Mirabel ont vendu leur terre pour les besoins de l'aéroport, puis ils en ont obtenu la location pour pouvoir les exploiter de nouveau (Stewart, 1979).

Dans l'analyse des répercussions d'un projet d'aéroport sur les utilisations des terres environnantes, l'ACTA considère généralement toutes les terres comprises dans un rayon d'au moins 20 km à partir du centre de l'aéroport (Transports Canada, 1977*d*). Les principales catégories d'études concernant l'utilisation du sol pour l'évaluation des répercussions au cours du processus de planification sont les suivantes: résidentiel, public, commercial, industriel, services municipaux, loisirs de plein air, transports, agriculture et paysage naturel. À la suite des répercussions qu'un projet d'aéroport peut avoir sur les utilisations des terres adjacentes, l'ACTA procède à quatre types de mesures d'atténuation. La première est celle qui consiste à indemniser les propriétaires fonciers ou les municipalités touchées. Les mesures d'indemnisation sont les suivantes: achat comptant des propriétés ou des entreprises à la valeur du marché; aide financière aux occupants forcés de quitter la région; aide aux occupants pour leur réinstallation sur des emplacements de rechange; indemnisation des dépenses de déménagement dans le cas des particuliers et concessions fiscales à certaines industries et entreprises commerciales. Le deuxième type, soit celui du plan directeur régional, du zonage, des servitudes, des options et de la banque de terre, entre dans la catégorie du contrôle de l'utilisation du sol dans l'aménagement des terres touchées ou dont l'utilisation est incompatible avec l'aménagement proposé. La troisième mesure relève directement de l'ACTA - il s'agit de la gestion ou de la réglementation de l'exploitation aéroportuaire et des activités connexes. Comme exemple de cette mesure, on peut mentionner la restriction de l'exploitation de l'aéroport et des mouvements d'appareils pendant la nuit. Le quatrième type de mesures d'atténuation a trait à l'offre de subvention pour compenser les pertes de taxes prévues par les municipalités touchées, en les récompensant pour une perte de leur base fiscale (ou de leur base fiscale potentielle) ainsi qu'une perte dans l'utilisation du sol ou l'utilisation potentielle du sol (Transports Canada, 1977*d*).

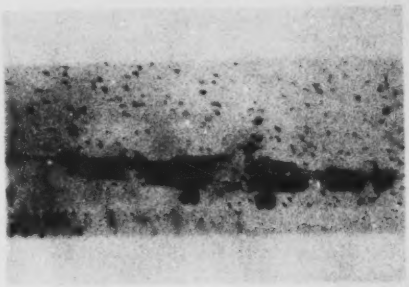


Photo 10. Pour des raisons de sécurité évidentes, on doit s'assurer qu'il n'y a pas de fortes concentrations d'oiseaux à proximité des aéroports. Les lignes directrices de Transports Canada prévoient que les terres utilisées à certaines fins, telles que les décharges, qui attirent les oiseaux, devraient se trouver à l'extérieur d'un cercle de 8 km de rayon et ayant l'aéroport pour centre.
Transports Canada

Projets d'aéroports et contraintes connexes sur les terres

Expansion aéroportuaire: Hamilton et Vancouver

La croissance des aménagements des terres à la périphérie des aéroports coïncide généralement avec la croissance de la demande de services pour les aéroports, laquelle nécessite de reculer les limites des aéroports. Les besoins divergents concernant les terres autour des principaux aéroports font du processus d'acquisition et d'expropriation des terres un problème controversé. La question prioritaire est celle des droits des occupants du voisinage immédiat de l'aéroport et de leurs craintes concernant la protection de la qualité de l'environnement. L'expansion d'un site aéroportuaire représente la menace d'une dégradation accrue de l'environnement et de répercussions préjudiciables plus

TABLEAU 8.
Incompatibilités des utilisations potentielles des terres

Utilisations du sol potentielles ou réelles	Questions de sécurité dans l'exploitation			
	Aides à la navigation	Restrictions de hauteur	Restrictions à la visibilité	Péril aviaire
Résidentiel				
Appartements	×	×		
Commercial				
Bureaux	×	×		
Hôtels et motels	×	×		
Entrepôts	×			
Centres commerciaux	×			
Détaillants		×		
Restaurants service à l'auto				×
Industriel				
Usines	×	×	×	
Ateliers	×			
Chantiers navals	×		×	×
Raffineries	×		×	
Laboratoires	×			
Cimenteries		×		
Carrières exploitées			×	
Carrières abandonnées				×
Scieries			×	
Entreprises de conditionnement des aliments				×
Institutionnel et public				
Églises		×		
Hôpitaux		×		
Centres d'hébergement		×		
Centres communautaires		×		
Bibliothèques		×		
Salles de spectacle	×			
Loisirs				
Stades		×		
Théâtres de verdure		×		
Pistes de course				×
Parcs et terrains de pique-nique				×
Champs de foire				×
Services municipaux de distribution				
Groupes générateurs d'électricité	×	×	×	
Ramassage des ordures ménagères et enfouissement				×
Traitement des eaux usées				×
Stockage des eaux				×
Agricole				
Jardins maraîchers et exploitations fruitières				×
Parcelles d'engraissement				×
Fermes à fourrure				×
Parcs à bestiaux et exploitations porcines				×
Producteurs de gazon et de semences				×
Naturel				
Forêts		×		
Réserves de poissons				×
Refuges d'oiseaux				×
Boisés marécageux				×
Terrains inondables				×
Réserves de chasse				×

Source: Adaptation de Transports Canada, 1977*d*.

nombreuses combinées à des niveaux de bruit plus élevés. Lorsque des effets négatifs sur l'environnement et sur la vie socio-économique sont perçus comme possédant une plus grande importance que les avantages possibles de l'expansion prévue, l'opposition à la poursuite de l'aménagement d'un aéroport peut être déterminante. C'est une telle perception qui a empêché l'expansion des sites aéroportuaires de Dorval et de Malton et qui a donné lieu aux solutions de rechange de Mirabel et de Pickering respectivement.

Les arguments en faveur ou contre l'expansion d'un aéroport du point de vue des contraintes potentielles sur les terres sont ultimement déterminés par les caractéristiques particulières du site d'un aéroport. L'aéroport municipal de Hamilton situé à Mount Hope est un exemple particulièrement intéressant en raison de la forte controverse qu'il a suscitée pendant de longues années.

Il s'est écoulé exactement dix années moins un mois entre le moment où la Hamilton Economic Development Commission a proposé pour la première fois l'expansion de l'aéroport de Mount Hope et le moment où l'on a annoncé que l'expansion aurait lieu. Les représentations de la Commission devant le ministère fédéral des Transports en janvier 1971 devaient déclencher une décennie de débats entre les divers groupements appuyant l'expansion et ceux qui y étaient opposés (Marron, 1980; Connor Development Services Limited, 1977). Deux points de vue bien différents ont émergé au cours de ce débat. Les groupes qui favorisaient l'expansion de l'aéroport fondaient leurs arguments en faveur de l'aménagement sur des raisons économiques; la ville de Hamilton avait besoin de meilleurs services et de meilleures installations aéroportuaires afin de maintenir et de stimuler sa croissance économique, sinon l'aéroport tout comme la ville connaîtraient une stagnation certaine (Isbester *et al.*, 1970). Les objections à cet argument sont venues de nombreux groupements qui se sont prononcés contre les aéroports et dont les craintes étaient surtout liées à la protection de l'environnement. Leurs objections provenaient surtout de la peur des contraintes sur les terres agricoles, de l'appréhension concernant les répercussions négatives inévitables du bruit sur la population rurale et la perte des terres agricoles productives par suite de l'expropriation. Le besoin réel d'expansion de l'aéroport de Mount Hope était aussi remis en question (Federation of Hamilton Environmental Groups, 1971).

Vers le milieu de l'année 1973, la situation avait atteint son point culminant. À cette époque, le ministre des Transports a annoncé qu'une étude serait entreprise pour évaluer les répercussions possibles sur le milieu urbain, le milieu social, le milieu économique et l'environnement par suite de l'expansion éventuelle du site de Mount Hope ou de l'aménagement d'un autre site (Connor Development Services Limited, 1977). Quatre années d'études suivies et de débats publics ont culminé avec la formation d'un jury du PEEE qui a eu pour mission d'examiner les propositions de Transports Canada concernant

l'aéroport de la région de Hamilton. Pendant les trois années suivantes, les délibérations se sont poursuivies jusqu'à ce qu'on en arrive à la décision finale d'exproprier environ 133 ha, soit 11 fermes et 16 résidences, pour une expansion de $50 millions, sur le site de Mount Hope (Marron, 1980).

L'approbation de ce projet d'expansion s'est appuyée sur les résultats d'évaluations comparatives concernant des sites de rechange; certaines études qui avaient démontré que les conséquences pour l'environnement de l'expansion prévue seraient moins contraignantes que les conséquences prévisibles pour les autres nouveaux emplacements. Un nombre moins élevé d'hectares de terres agricoles serait soustrait à la production ou affecté d'une quelconque autre façon par l'expansion plutôt que par la construction sur un nouveau site aéroportuaire.

Néanmoins, les cultivateurs de la région ainsi que les autorités municipales locales appréhendent le moment de 1985 où l'expansion sera terminée et où le trafic des avions à réaction fera sentir ses répercussions de bruit sur les terres avoisinantes. Malgré les avantages économiques positifs envisagés par la ville de Hamilton et la région de Hamilton-Wentworth, les municipalités rurales sont aussi inquiètes au sujet des contraintes sur les terres agricoles relativement aux aménagements futurs si un surplus de trafic aérien est détourné dans leur région en provenance de l'aéroport international de Toronto. Il reste à voir comment se comportera l'aéroport de Mount Hope comme aéroport de soutien de Malton en accueillant le trafic aérien régional de Toronto.

Si le cas de Hamilton est controversé, les problèmes d'expansion de l'aéroport de Vancouver sont encore plus aigus. En effet, l'aéroport international de Vancouver présente des caractéristiques exceptionnelles du seul fait qu'il s'étend sur 1 480 ha de basses-terres poldérisées, soit le cadre relativement fragile de Sea Island. Les contraintes potentielles sur les terres liées à l'aménagement de l'aéroport dans d'autres sites importants du sud du Canada sont vraiment négligeables si on les compare aux répercussions de l'aménagement qu'a connu cette partie du delta estuarien du fleuve Fraser.

L'aéroport international de Vancouver se classe au troisième rang des aéroports canadiens les plus occupés, puisqu'il dessert plus de six millions de passagers et qu'on y manipule 70 000 tonnes de marchandises par année (Transports Canada, 1981*a*). D'après le Rapport annuel 1979-1980 de Transports Canada (Transports Canada, 1981*c*), l'aéroport international de Toronto se classe au premier rang avec ses 14 millions de passagers et ses 190 000 tonnes de cargaison tandis que les aéroports de Dorval et de Mirabel réunis se classent au deuxième rang avec 8 millions de passagers et 131 000 tonnes de cargaison. En 1996, le nombre de passagers et le nombre de mouvements

Photo 11. L'aéroport international de Vancouver est aménagé sur une île située dans un estuaire qui abrite un habitat riche et fragile. Les projets d'expansion de l'aéroport ont soulevé de nombreuses inquiétudes en ce qui concerne l'utilisation des terres, notamment l'éventualité d'effets néfastes sur le potentiel de la productivité naturelle des terres humides.
R. McKelvey, Service canadien de la faune

d'avions à l'aéroport international de Vancouver devraient être le double de celui qu'il connaît aujourd'hui (Transports Canada, 1980*c*). Toutefois, il est clair que la capacité actuelle de l'aérodrome de Vancouver ne permettra pas d'accommoder les hausses de trafic aérien prévues. En réalité, on prétend déjà que l'aéroport de Sea Island à Vancouver a franchi le point où l'expansion de ses limites est devenue essentielle du point de vue des besoins d'exploitation. La congestion des pistes a retardé 20% des appareils en arrivance et 30% des appareils en partance au cours de l'année 1980 (Transports Canada, 1980*c*, 1981*a*).

Il n'est donc pas étonnant que les projets d'expansion de l'aéroport international de Vancouver durent depuis trois décennies; en effet les premières soumissions d'expansion ont été faites en 1953 (Airport Planning Committee, Vancouver International Airport Project,1976).

Dans son anticipation de l'expansion des lieux, le gouvernement fédéral a commencé à acheter des propriétés dans Sea Island au début des années 50. En 1972, lorsque l'expansion a semblé imminente, Transports Canada a décidé d'exproprier la plupart des propriétés privées restantes qui avoisinaient le site. Les objections de la population locale à l'expropriation ont donné lieu à des audiences publiques en vertu de la Loi sur les expropriations afin de justifier le besoin de cette expansion. À la même époque, le Greater Vancouver Regional District (GVRD) Planning Committee, de concert avec divers groupements communautaires et divers groupes de pression, a fait part de son inquiétude au sujet des répercussions possibles sur l'environnement par suite de l'expansion de l'aéroport. À la vue de la controverse grandissante et des conflits d'intérêt évidents, le gouvernement fédéral a institué un comité de planification de l'aéroport au printemps de 1973. Ce comité, composé de représentants des gouvernements fédéral et provincial, des administrations régionales et municipales ainsi que de la population locale, a reçu pour mandat d'examiner l'expansion prévue du point de vue de sa compatibilité avec les intérêts de planification des divers paliers de gouvernement concernés, de même que les craintes de la population touchée.

Parallèlement à l'établissement de ce comité de planification de l'aéroport, et de concert avec celui-ci, un groupe chargé du plan directeur de l'aéroport de Vancouver a été mis sur pied par l'ACTA; ce groupe a été chargé de préparer un plan directeur visant l'aménagement global de l'aéroport. Toutefois, ni l'un ni l'autre de ces deux groupes n'avait le pouvoir d'approuver ou de rejeter les propositions d'expansion que l'ACTA avait formulées en 1971 pour l'aéroport international de Vancouver. Au lieu de cela, ils étaient chargés de formuler des avis et de coordonner la documentation à l'appui des nombreuses études d'évaluation nécessaires à l'examen des répercussions possibles en ce qui concernait certains schèmes d'aménagement de rechange. Dans l'attente des résultats et des recommandations de toutes les études d'évaluation, Transports Canada est revenu sur sa décision de procéder à l'agrandissement de l'aéroport international de Vancouver.

Les délibérations du Airport Planning Committee et de ses six sous-comités ont pris presque trois ans. En tout, dix grandes études ont été menées pour évaluer la faisabilité d'un agrandissement de l'aéroport. Ce sont les études suivantes:

- une évaluation des autres sites aéroportuaires possibles;
- une étude sur le bruit aéronautique de l'aéroport international de Vancouver (on dit qu'il s'agit de l'étude la plus poussée en son genre à jamais avoir été menée dans un aéroport canadien);
- une évaluation des répercussions sur l'environnement;
- une étude des problèmes urbains;
- une étude des problèmes sociaux;
- une étude des prévisions de trafic aérien;
- un rapport sur la portée économique de l'aéroport;
- une analyse de la demande de trafic et de la capacité du réseau de pistes;
- un rapport sur les transports au sol;
- une étude de faisabilité technique concernant les installations aéroportuaires.

L'examen du Airport Planning Committee portant sur ces études a culminé avec la publication des résultats dans un Final Report en mars 1976. Bien que les représentants du Comité de l'ACTA aient constaté qu'il n'existait pas de «grands effets préjudiciables» dans les rapports soumis, les études ont quand même permis de mettre en lumière de graves problèmes de contraintes sur les terres pour ce qui est de leur environnement et de l'état de l'estuaire. La première contrainte sur l'expansion de l'aéroport, et par conséquent un argument contre la construction de nouvelles pistes, tenait au risque de compromettre plus gravement la capacité de production naturelle des ressources estuariennes. La construction des pistes, particulièrement de celles qui nécessiteraient des travaux de dragage et de remblayage au-delà de l'espace actuellement poldérisé de Sea Island, menacerait la capacité de production et de soutien biologique des terrains inondables de l'estuaire. La capacité agricole continue des meilleures terres agricoles de Sea Island serait également compromise.

Le delta-estuaire du fleuve Fraser connaît depuis longtemps des contraintes de divergence et de conflit parmi les utilisateurs de ses ressources. On a estimé que certains projets antérieurs d'aménagement, prévoyant de grands travaux de dragage et de remblayage de même que la construction de digues pour lutter contre les inondations ainsi que l'assainissement de certaines terres, sont responsables de la réduction de pratiquement 80% de l'espace réservé à l'habitat naturel dans le delta-estuaire du Fraser (Environnement Canada, 1976*a*). À un cinquième de leur étendue originale, les habitats estuariens possèdent aujourd'hui une capacité très limitée d'alimenter les jeunes saumons ainsi que les autres espèces de poissons, les oiseaux et les mammifères. Les pressions qui s'exercent de nos jours sur les aménagements prévus dans ce secteur comportent donc de graves conséquences pour le rôle de soutien biologique qu'assurent actuellement le marais salin côtier et le vey d'oscillation. Des répercussions de contraintes potentielles de l'empiétement estuarien continu pourraient bien s'avérer possibles si on ne fait rien.

Aux prises avec ce type d'évidence, fournie par les études du Comité de planification de l'aéroport, l'ACTA a décidé d'abandonner toute idée de prolongement d'une nouvelle piste au-delà des rives actuelles de Sea Island. Il a plutôt été décidé de donner suite à une proposition de construire une troisième piste à l'intérieur de la zone actuellement poldérisée parallèlement à la piste est-ouest qui existe déjà. Comme il peut quand même en résulter des répercussions préjudiciables à l'environnement, l'ACTA a formellement soumis son projet d'expansion au PEEE en août 1976. On a constaté que trois répercussions possibles des contraintes devaient faire l'objet de travaux plus poussés de la part du PEEE: le fait de soustraire certaines terres à l'utilisation agricole; une réduction de la superficie réservée à l'habitat faunique dans Sea Island; et les répercussions sur l'environnement de l'accroissement du bruit des avions pour la faune et la population habitant les environs.

Par suite de la formation d'un jury spécial du PEEE, on a préparé un projet de lignes directrices de la DIE pour le projet d'expansion de l'aéroport international de Vancouver. Des audiences publiques ont été tenues en septembre 1977 afin d'entendre des commentaires sur les exigences du projet de lignes directrices de la DIE. Après avoir considéré les observations du public, telles que présentées aux audiences et soumises au jury sous forme écrite, le jury du PEEE a rédigé ses lignes directrices définitives de la DIE puis il en a fait part à l'ACTA. On était alors en juillet 1978 et il revenait à l'ACTA de préparer la DIE voulue. À ce moment, l'ACTA a décidé, encore une fois, de remettre temporairement le projet d'expansion et de suspendre la tenue d'une DIE en attendant la publication d'un document sur la planification de l'aéroport par le groupe chargé du projet de plan directeur pour l'aéroport de Vancouver. On a donc mis fin aux travaux du PEEE.

La suspension des travaux devait durer trois ans. Entretemps, un Draft Airport Master Plan (Transports Canada, 1980*c*) a été soumis à l'attention du public pour commentaires en octobre 1980. Il a alors été recommandé que l'étendue de terre de Sea Island qui est située au nord des installations aéroportuaires actuelles soit réservée à l'addition d'une piste est-ouest. Au cours de la période de quatre mois pendant laquelle ont eu lieu des consultations publiques à la suite de la publication de ce document, plus de 500 personnes ont exprimé leurs craintes et leurs points de vue aux représentants de l'ACTA à l'occasion de huit tribunes libres. De plus, 318 exposés écrits ont été reçus des particuliers, des divers ministères provinciaux, des municipalités, des milieux d'affaire et de l'aéronautique ainsi que de divers organismes intéressés à la protection de l'environnement. Puis, en décembre 1981, Transports Canada a annoncé que serait officiellement approuvé le Vancouver International Airport Master Plan, après l'avoir amélioré pour tenir compte des commentaires et des suggestions du public. Au même moment, il a été annoncé que l'ACTA s'occuperait de deux recommandations principales faites dans le plan directeur. En premier lieu, il a été décidé de procéder immédiatement à la rénovation et à la réouverture d'un champ d'aviation militaire inutilisé dans Boundary Bay afin d'y accommoder le trafic des avions légers et l'aviation en général de l'aéroport international de Vancouver.

La seconde recommandation à laquelle on décidait de donner suite était celle qui reconnaissait la construction prévue d'une piste est-ouest parallèle en tant qu'option d'aménagement à long terme. L'ACTA pouvait donc maintenant aller de l'avant dans la préparation d'une déclaration des impacts sur l'environnement (DIE) et le jury du PEEE pouvait être réanimé (Vancouver Sun, le 7 décembre 1981, p. 3).

La dernière période de travaux du PEEE devrait prendre des années. On estime que la préparation de nouvelles lignes directrices révisées de la DIE par le jury du PEEE ainsi que la préparation de la documentation d'appui d'une DIE par l'ACTA prendra au moins deux ans (Richmond Review, le 22 janvier 1982, p. 1). L'examen éventuel de la DIE par le jury, le public et le ministre fédéral de l'Environnement devrait être aussi un processus assez lent. Des audiences publiques doivent être tenues par le jury du PEEE en 1984, ou plus tard, afin d'examiner toutes les craintes concernant les répercussions possibles de l'aménagement de pistes sur la nature et les localités avoisinantes. Il s'est déjà écoulé plus d'une décennie depuis que le projet d'expansion de l'aéroport international de Vancouver a été mis de l'avant par l'ACTA (en 1971). Il semble donc que la décision concernant la piste de Sea Island se révèle être la plus lente et la plus pénible des décisions jamais prises concernant l'expansion d'un aéroport.

Le cadre de Sea Island dans lequel se trouve l'aéroport international de Vancouver fournit évidemment un excellent exemple de circonstances où l'ampleur des contraintes sur l'environnement par rapport à l'aménagement est proportionnelle à l'ampleur des répercussions possibles des contraintes et l'ampleur des problèmes de prise de décision nécessaire à la planification.

Un nouveau site aéroportuaire: Mirabel

Si on laisse de côté les problèmes d'exploitation et les problèmes économiques que l'aéroport de Mirabel a essuyés depuis son ouverture officielle à l'automne de 1975, on peut dire que la planification de cet aéroport de «verdure» a constitué un succès sur le plan de la protection de l'environnement. À Mirabel, les répercussions et les risques d'atteinte à l'environnement qui résultent de l'exploitation sont surveillés et contrôlés, des mesures d'atténuation sont appliquées et le problème du bruit n'existe pas. En termes simples, on peut dire que les répercussions sur l'environnement ne sont pas un problème sur le site de Mirabel et à sa périphérie en raison de l'existence d'une grande zone tampon entre l'aérodrome et les localités avoisinantes. L'emploi de cette banque de terres est régi de manière à minimiser les effets préjudiciables tant sur le milieu social que sur le milieu naturel (Beinhaker et Choukroun, 1975; Marriot et Cook, 1975; McNairn, 1972).

Néanmoins, pour avoir voulu s'assurer que les localités voisines ne seraient pas dérangées par l'exploitation de l'aéroport, les planificateurs ont isolé Mirabel au moyen de «terres à bruit» et ce procédé a donné lieu à des répercussions d'un type particulier sur l'utilisation du sol. Apparemment, une trop grande partie de cette zone tampon a été acquise par expropriation. Aussi, au début de l'année 1981, il a été annoncé que le gouvernement fédéral avait décidé de remettre à la propriété privée une partie des 31 565 ha de terres surtout agricoles autour de Mirabel (Globe and Mail, le 4 février 1981, p. 10; Terre, 1981).

La raison donnée pour justifier une telle décision voulait qu'il ne soit plus nécessaire pour le gouvernement fédéral de détenir la main-mise entière sur les lieux en raison du zonage régional des terres agricoles et d'autres utilisations compatibles; cette raison a été établie après la planification de l'aéroport, et parce que des avions moins bruyants ont été mis au point depuis 1969, époque où les terres à bruit avaient été acquises.

Bien que la plus grande partie des terres agricoles ait été remise à des cultivateurs en vertu de baux avec les années depuis son expropriation en 1969, la plupart des 800 familles rurales originales ont aujourd'hui quitté la région. Au moment d'écrire ces lignes, il n'avait pas encore été décidé du nombre d'hectares qui seraient remis au secteur privé. Peu importe ce nombre, trois groupements de citoyens risquent d'être touchés: les particuliers et leur famille qui ont quitté la région immédiate, ceux qui sont restés comme locataires; ainsi que les nouveaux locataires qui ont aménagé dans la région depuis l'expropriation de 1969. Inutile de dire, que la tâche de superviser la vente des terres peut se

Photo 12. D'une grande superficie, la zone tampon qui entoure l'aéroport de Mirabel réduit considérablement les problèmes liés au bruit dans les agglomérations environnantes. Une partie des terres à vocation agricole sera vendue à l'entreprise privée.
G. Thomas, Transports Canada

révéler un processus complexe pour la nouvelle corporation de la couronne instituée à cette fin. Une partie de son mandat consiste à prendre en considération les points de vue des résidants de la région les plus directement touchés, certains d'entre eux risquant de ne pas être d'accord avec l'idée que tous les propriétaires originaux se voient accorder un premier refus de racheter les terres ou d'obtenir un bail à long terme.

Un projet d'aéroport interrompu: Pickering

Bien que le projet de deuxième aéroport international de Toronto à Pickering ait été interrompu le 25 septembre 1975, les contraintes sur les terres liées à sa planification sont nombreuses. Le projet de Pickering comportait des répercussions sur l'utilisation du sol, sa valeur et ses possibilités; ces répercussions se font encore sentir aujourd'hui. La spéculation foncière et la conversion du mode de propriété par l'expropriation fédérale sont deux facteurs particulièrement responsables des contraintes sur les terres qui existent sur les lieux de l'aéroport retardé de Pickering ou dans les environs.

En mars 1972, le gouvernement fédéral et la province de l'Ontario ont conjointement annoncé que la région de Pickering serait aménagée de manière à y créer un aéroport et une ville satellite. Au même moment, on a aussi proclamé un «ordre de gel» s'appliquant à certaines terres de la région. Bien que l'ordre de gel sur l'utilisation du sol ait eu tendance à étouffer tout achat des terres touchées pour fins de spéculation, on a assisté à une grande ruée de spéculation de la part des corporations sur les terres régionales un peu à l'écart des zones de gel. Comme la plus grande partie des terres appartenant à l'ensemble de la région de Pickering était déjà entre les mains des spéculateurs vu la proximité d'un centre urbain en plein essor comme Toronto, l'activité spéculative accrue a eu pour seul effet de gonfler la valeur des propriétés dans la région. Un juge de la cour fédérale a évalué la hausse de la valeur marchande d'un certain nombre de propriétés de Pickering comme étant de 30% entre le moment où les plans d'aménagement du gouvernement fédéral et du gouvernement provincial ont été annoncés et 11 mois plus tard, lorsque les terres ont été expropriées (*Capus Developments Ltd., et al.* c. *La Reine*).

À part l'effet de la spéculation sur la valeur des terres, il faut aussi mentionner une répercussion sur l'utilisation du sol liée aux activités de spé-

culation. Il s'agit de la spéculation pour le gain de capital, lequel, lorsqu'il se combine à la concurrence générale entre les utilisateurs du sol sur le marché des propriétés péri-urbaines, a tendance à faire gonfler le prix des terres au point où celles-ci deviennent hors d'atteinte des exploitants agricoles ou des personnes désireuses de s'adonner à d'autres activités non urbaines. Martin (1972) a procédé à une étude de cas de la dynamique d'utilisation du sol à Pickering et dans ses environs et son étude a révélé que les tendances à la conversion des terres rurales à une utilisation urbaine s'étaient déjà bien ancrées dans le processus du marché foncier au moment où le projet d'aéroport a été annoncé. L'étude menée par Martin concernant la propriété foncière et les ventes intervenues l'ont conduit à conclure qu'une spéculation généralisée dans la région de Pickering mènerait à la soustraction des terres de Pickering à la production, même si elles appartiennent à la classe 1 du point de vue du potentiel agricole, qu'un aéroport y soit construit ou non. Toutefois, il faut mentionner que l'activité de spéculation accrue dans les secteurs extérieurs aux terres assujetties à l'ordre de gel a servi à gonfler la valeur marchande des terres au-delà de ce que pourrait se permettre un utilisateur agricole ou un autre utilisateur rural.

L'expropriation des propriétés pour les besoins de l'aéroport de Pickering a donné lieu à plusieurs contraintes sur les terres de la région au cours des années. D'après Stewart (1979), les répercussions immédiates des expropriations de Pickering se sont fait sentir sur la valeur des terres environnantes: «Une fois que l'acquisition des terres ait eu commencé au niveau fédéral et que 35 000 acres [14 170 ha] d'excellentes terres ont été soustraits au marché, les prix des propriétés entourant le site ont commencé à grimper et les résidants de Pickering qui avaient déménagé ne pouvaient plus se permettre d'acheter de nouvelles maisons pour les sommes qu'ils avaient reçues en échange de leur ancienne demeure.» Il convient aussi de signaler que le nombre véritable de terres expropriées par le gouvernement fédéral pour l'aéroport s'étendait sur 7 527 ha. Une étendue de 10 117 ha de plus a été expropriée par le gouvernement provincial pour le site d'une nouvelle ville devant être située au sud de l'aéroport.

Comme l'aéroport de Pickering n'a pas été construit, il n'y a pas eu beaucoup de changements dans le type des utilisations pratiquées sur les terres expropriées. N'appartenant plus à des familles de cultivateurs, ces terres continuent à être exploitées par des cultivateurs, mais à loyer cette fois. Par conséquent, les répercussions des expropriations se font sentir sur les occasions passées d'utilisation du sol. En d'autres termes, la soustraction de 7 527 ha de terre agricole du marché foncier en empêche l'utilisation pour les activités concurrentes dans la région, soit les utilisations commerciales et industrielles. Une répercussion analogue résulte du gel des terres rurales et du zonage agricole dans le voisinage des aéroports.

L'effet à long terme des expropriations de Pickering pourrait bien se répercuter sur la capacité des terres. Dans les années qui ont suivi l'interruption du projet d'aéroport de Pickering, la plupart des terres agricoles du site ont été consacrées à la production du maïs. Il s'agit d'une culture marchande qui peut donner des rendements économiques élevés à l'hectare, mais on sait aussi que la surproduction de maïs pendant un certain nombre d'années consécutives conduit éventuellement à l'épuisement des éléments nutritifs du sol et à l'érosion des couches superficielles fertiles. Certains habitants de la région de Pickering craignent donc que les terres agricoles expropriées appartenant à la classe 1 puissent perdre leur forte capacité de production si la culture du maïs n'est pas judicieusement gérée et si les terres continuent d'être retenues par le gouvernement fédéral (Speirs, 1979).

CONCLUSION

En cherchant à expliquer le rôle d'un aménagement aéroportuaire dans la détermination de l'utilisation, de la valeur et des possibilités des terres, plusieurs questions concernant les contraintes sur les terres ont été examinées.

En premier lieu, on a vu que la relation entre les emplacements aéroportuaires et leur milieu naturel sont l'une des interactions bidirectionnelles par lesquelles les répercussions possibles des contraintes comportent un lien très étroit avec les contraintes de protection de l'environnement imposées à l'aménagement des aéroports. Toutes les phases d'aménagement aéroportuaire sont soumises à des contraintes d'environnement. Pendant la phase de l'aménagement qui consiste à faire des relevés de terrain, les contraintes potentielles sur les terres ne sont généralement pas un problème. Il n'y a que dans les cadres naturels très fragiles et très vulnérables que les relevés de terrain sont limités et gênés pour des raisons de contraintes liées à la protection de l'environnement. C'est au cours de la phase de construction de l'aéroport que la protection de l'environnement doit être assurée avec le plus de vigilance. La construction sur le site aéroportuaire est alors soumise à des mesures rigoureuses visant à réduire au minimum les répercussions des contraintes qui résultent du bouleversement du paysage naturel. Les contraintes les plus graves pendant cette phase de construction sont celles qui découlent des risques d'érosion du sol et de l'altération irréversible des paysages naturels.

En ce qui concerne l'exploitation de l'aéroport, on a vu que l'introduction de déchets et de contaminants dans l'environnement force les aéroports à se conformer à certaines restrictions d'exploitation afin d'empêcher la dégradation de la qualité de l'environnement et la naissance d'obstacles aux capacités de production des terres.

Une discussion en profondeur concernant les problèmes du bruit dans les aéroports a révélé que les répercussions de ces problèmes acoustiques sur les utilisations concurrentes des terres étaient un problème de déséconomie externe, ayant pour effet une répartition inefficace des terres entre les secteurs du transport aérien et des utilisations moins bruyantes. Les coûts du bruit des aéroports du point de vue des contraintes peuvent se manifester de deux manières: par leur restriction à certains aménagements (imposée au moyen d'une réglementation sur l'utilisation du sol ou à partir d'une perte dans les avantages de la concurrence dans les activités), et par le fardeau financier de la dévaluation foncière.

On a constaté que l'influence des aéroports sur l'aménagement régional tenait à leur rôle de catalyseurs et de générateurs d'avantages économiques. On peut donc dire que les compromis entre les utilisations divergentes des terres au voisinage des aéroports tiennent lieu de dynamique régionale dans l'utilisation du sol, dont l'expression à long terme correspond aux modes d'utilisation du sol.

Les responsabilités juridictionnelles dans la réduction des contraintes sur les terres liées aux aéroports ont fait l'objet de discussions en ce qui concerne les divers ordres de gouvernement et les divers organismes intéressés. En vertu de l'autorité qu'elle détient sur l'exploitation des aéroports, l'ACTA doit respecter les politiques de protection de l'environnement à tous les stades d'aménagement aéroportuaire. Les autorités provinciales et locales jouent un rôle de premier plan dans la planification et le contrôle de l'utilisation du sol au voisinage des aéroports. Et finalement, il faut mentionner le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales (BFEEE), dont la tâche consiste à résoudre les conflits relatifs à l'environnement qui découlent de la répartition des terres entre les diverses utilisations concurrentes.

Bref, on a cherché à expliquer de quelle manière les aménagements aéroportuaires nécessitaient des compromis stratégiques entre les objectifs de la sécurité des transports aériens, ainsi que sa commodité et son efficacité, d'une part, et les considérations relatives aux terres étrangères au secteur de l'aviation, d'autre part. L'intérêt concernant les terres comprend les objectifs d'aménagement régional, les prétentions divergentes sur l'utilisation du sol, les répercussions préjudiciables découlant du bruit des aéroports ainsi que les effets négatifs des aménagements aéroportuaires sur le milieu naturel.

Étant donné la portée des contraintes actuelles sur les terres liées aux aéroports, il semble que le problème d'emplacement des aéroports soit devenu permanent. La rareté des terres propices à l'expansion des aéroports et à la création

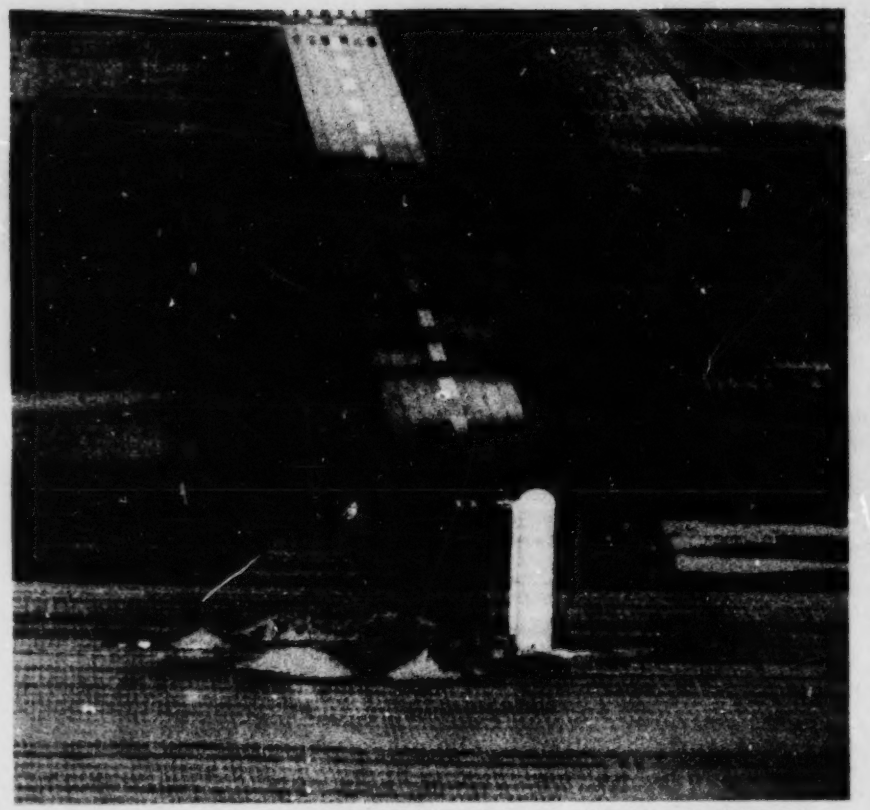


Photo 13. Il n'y a pas que les aéroports du gouvernement fédéral qui créent des problèmes en matière d'utilisation des terres. Près de l'aéroport municipal de Chatham, un exploitant agricole a élevé sur sa propriété un silo qui ne se trouve qu'à 112 m d'une piste d'atterrissage et de décollage. Cet exemple montre que l'opinion du public est bien complexe en ce qui touche la propriété foncière et l'utilisation des terres.
George Blumson of the London Free Press

de nouveaux sites, le problème du bruit des aéroports et la nécessité de protéger la qualité du milieu se conjuguent et rendent l'avenir des aménagements aéroportuaires extrêmement incertain. Il existera toujours des pressions relatives à la protection de l'environnement qui s'exerceront à l'encontre de la détermination du secteur des transports aériens dont l'intention est évidemment de construire et d'agrandir les aéroports. Bien qu'il soit encore possible qu'un aéroport se construise un jour à Pickering, il semble probable que les contraintes croissantes liées à la protection de l'environnement et à l'utilisation du sol nous feront assister à un nombre de plus en plus grand de situations dans lesquelles les aménagements aéroportuaires seront contrecarrés ou interrompus.

Toutefois, peu importe les contraintes sur l'environnement, il est inévitable que de nouvelles situations se présenteront. Ainsi, nous avons déjà assisté à une réduction de l'étendue des terres nécessaires à l'isolation du bruit à Mirabel par suite de la mise au point d'avions moins bruyants. Tout comme les innovations et les changements techniques ont eu des implications sur le bruit au voisinage de certains aéroports, il est probable que d'autres progrès techniques réduiront certains autres conflits au voisinage des aéroports.

Une des innovations techniques qui reçoit de plus en plus d'attention en raison des possibilités qu'elle offre de réduire la congestion sur les aérodromes est celle des ADAC (avion à décollage et à atterrissage court). Comme les transporteurs ADAC sont relativement peu bruyants et qu'ils n'engendrent à peu près pas de pollution, tout en ne nécessitant que des pistes très courtes pour leur décollage et leur atterrissage, ils conviennent donc parfaitement aux trajets à partir des centres-villes et des aérodromes complémentaires. Il est à espérer que l'exploitation d'ADACports régionaux et de services ADAC inter-ville serviront à décongestionner les grands aéroports d'une partie de leur trafic d'avions à réaction classiques, ce qui ferait diminuer dans une certaine mesure les niveaux de bruit et les répercussions sur l'environnement (Transports Canada, 1978*c*). En soulageant la congestion dans les aéroports, les services d'ADACports de dégagement sont aussi susceptibles de réduire les besoins de nouvelles installations aéroportuaires et l'agrandissement des plus gros aéroports. Dans le cas de l'aéroport international de Vancouver, il est possible que la mise en service de l'aérodrome de Boundary Bay pour les petits avions et l'aviation générale éliminera, du moins pour un temps, la nécessité d'agrandir ces installations (Richmond Review, le 22 janvier 1982, p. 1).

On entrevoit aussi une autre solution partielle à la congestion des aérodromes, il s'agit de la technologie améliorée du contrôle du trafic aérien, comme le Relais de visualisation radar des phases en route et terminal (JETS); un nouveau système de guidage radar plus perfectionné et le Système d'atterrissage à micro-ondes (MLS), qui remplace maintenant le système classique d'atterrissage aux instruments (ILS) au Canada (Transports Canada, 1981*c*; Stewart, 1979).

D'autres innovations contribuant à réduire les contraintes des aéroports doivent évidemment provenir du secteur étranger à l'aviation. Par exemple, la création d'un service de transport ferroviaire rapide pour les passagers inter-ville, attendu depuis longtemps au Canada, pourrait faire beaucoup pour décongestionner les aéroports qui doivent actuellement assurer des services de transport aérien sur de courtes distances. La Federation of Hamilton Environmental Groups (1971) prétendait il y a plus d'une dizaine d'années que l'amélioration des moyens de transport en surface pourrait résoudre les problèmes de transport de Hamilton et réduire la nécessité d'agrandir l'aéroport de Mount Hope.

Il existe donc un défi de taille dans la planification et l'exploitation des futurs aéroports si l'on tient vraiment à lutter contre les contraintes sur les terres sur les lieux même des aéroports et dans leur voisinage. La clé d'une saine gestion des terres au voisinage des aéroports doit résider dans une stratégie de planification globale et intégrée pour les transports et l'environnement. Il faut accorder une attention toute particulière aux types de compromis possibles entre les avantages économiques et la qualité de l'environnement. Même si une semblable approche globale peut s'avérer compliquée d'application, c'est le seul moyen de réduire les contraintes des aéroports sur les terres et d'assurer l'utilisation la plus rationnelle possible des terres dans le voisinage des aéroports.

REMERCIEMENTS

L'auteur est reconnaissant à M. Paul Bircham des précieuses informations qu'il lui a fournies pour la rédaction du texte. Il remercie également les bibliothécaires d'Environnement Canada et de Transports Canada pour leur collaboration, de même que le professeur Edmond Kayser qui a revu le manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

Abelson, P.W. 1981. «Costs of Noise Nuisance from Aircraft» International Journal of Environment Studies. vol. 17, nos 3 et 4, pp. 225-232. Gordon and Breach Science Publishers, New York, New York.

Acoustical Engineering. 1974. Noise Measurement Survey of Vancouver International Airport. Report No. 7460, vol. 1. Pour le compte de Vancouver International Airport Project. Transports Canada. Vancouver, Colombie-Britannique.

Acres Consulting Services Ltd. 1975. Report on Methodology for Assessing Impact of Airport Projects on Air Quality. Pour le compte de Transports Canada. Niagara Falls, Ontario.

_____, et F.F. Slaney & Company Ltd. 1975. Environment and Land Use Study of Vancouver International Airport. Pour le compte de la Direction générale des terres, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Aeronautical Noise Study Team. 1974. Aeronautical Noise Study Vancouver International Airport. Manuscrit. Pour le compte de Noise and Social Impact Sub-Committee, Airport Planning Committee. Vancouver International Airport Project. Vancouver, Colombie-Britannique.

Airport Planning Committee. Vancouver International Airport Project. 1976. The Airport Planning Committee Final Report. Vancouver, Colombie-Britannique.

Alberta. Alberta Environment. 1981. «Noise Pollution.» Environment Views. vol. 4, no 3. Communications Branch. Edmonton, Alberta.

Alberta. Environment Conservation Authority. 1975*a*. Compatible Land Use in the Vicinity of the Edmonton International Aiport: Leduc. Information Bulletin No. 2. Préparé par l'Administration canadienne des transports aériens (Région de l'Ouest). Edmonton, Alberta.

_____. 1975*b*. The Environmental Effects of Residential Development in the Leduc/International Airport Area: Report and Recommendations. Edmonton, Alberta.

_____. 1975*c*. A Report on Future Growth of the Town of Leduc. Information Bulletin No. 4. Préparé par Edmonton Regional Planning Commission. Edmonton, Alberta.

_____. 1976. Commercial Supersonic Air Transportation in Alberta: A Preliminary Analysis of Environmental Impact Information. Préparé par R.E. Rogers. Edmonton, Alberta.

Alberta. Environment Council of Alberta. 1979. Noise in the Human Environment: Volume 1 Édité par H.W. Jones. Publication No. ECA79-SP/1 (v. 1/2). Edmonton, Alberta.

_____. 1980*a*. Economic Aspects of Noise in Alberta. Préparé par K.R. Wiens et J.R. Kinley. Inter Group Consulting Economists Limited. Publication No. ECA80-16/1B3. Edmonton, Alberta.

_____. 1980*b*. Noise in Alberta. Publication No. ECA80-16/1B4. Edmonton, Alberta.

Alberta. 1975. The Alberta Gazette. Part II, Vol. 71, No. 21, pp. 832–843. Alberta Regulation 291/75 to The Planning Act.

Applied Marine Research Ltd. 1975. Methodology for Assessing Impact of Airport Projects on the Marine and Aquatic Life Component of the Airport Physical Environment. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Association des routes et transports du Canada. 1977. Urban Transportation Planning Guide. University of Toronto Press. Toronto, Ontario.

Banbiger, M.S., et Vandersypen, H.L. 1969. Major Commercial Airport Location. The Transportation Center. Northwestern University. Evanston, Illinois.

Bauman, Kenneth A. 1971. «Urban Noise as a Factor in Planning.» Thèse de maîtrise. Department of Geography, University of Alberta. Edmonton, Alberta.

Beard, Eugene. 1972. Aviation Cost Allocation Study: Socio-Economic Approach to Benefits of the Airport and Airway System. U.S. Department of Transportation. Washington, D.C.

Beinhaker, P.H. 1972. «Airport Location and Terminal Systems.» Readings in Airport Planning. Centre for Urban and Community Studies et Department of Civil Engineering. University of Toronto. Toronto, Ontario.

_____, et Choukroun, J.M. 1975. «La gestion de la planification des aéroports: Un point de vue canadien.» Les Aéroports et l'Environnement. Organisation de Coopération et de Développement Économique. Paris, France.

Bennett, Paul R. 1980. The Impact of Toronto International Airport on the Location of Offices. Research Report No. 72. University of Toronto/York University Joint Program in Transportation. Toronto, Ontario.

Bider, J. Roger; Thompson, Eric; et Stewart, R.W. 1976. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal/Ecology and Management of Animal Resources. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

Blankenship, Edward G. 1974. The Airport: Architecture, Urban Integration, Ecological Problems. Pall Mall Press. London, England.

Blockpoel, Hans. 1976. Bird Hazards to Aircraft. Clarke, Irwin & Company Ltd. en coopération avec le Service canadien de la faune, Environnement Canada et le Centre d'édition du gouvernement du Canada. Ottawa, Ontario.

Breese, Gerald, *et al.* 1965. The Impact of Large Installations on Nearby Areas. Sage Publications. Los Angeles, California.

Bryan, R.B. 1975. A Methodological Matrix for Assessment of the Impact of Airport Construction and Operation on Soils and Geology. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Calgary, City of. 1971. The Protection of Calgary International Airport: Land Use Policy. Planning Department. Calgary, Alberta.

Canada. Commission d'enquête sur l'aéroport. 1974. Rapport de la Commission d'enquête sur l'aéroport. Résumé seulement. Ottawa, Ontario.

Canadian-British Consultants Ltd. 1977*a*. Environmental Clean-up Program Assessment Study: Deer Lake and Stephenville Airports. Pour le compte du Service de la protection de l'environnement. Environnement Canada. Halifax, Nouvelle-Écosse.

_____. 1977*b*. Environmental Clean-up Program Assessment Study: Halifax International Airport. Manuscrit. Pour le compte du Service de la protection de l'environnement. Environnement Canada. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Capus Developments Ltd., et al. c. *La Reine*. 1975. 8 L.C.R. 10.

Clibbon, Peter Brooke. 1976. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal/Structure and Dynamics of Land Use. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

CLM/Systems, Incorporated. 1972. Airports and Their Environment: A Guide to Environmental Planning. Cambridge, Massachusetts.

Commission on the Third London Airport. 1970. «Disruption of Community Life: A Comparative Study of Foulness, Northampstead, Thurleigh, and Cublington.» Commission on the Third London Airport Papers and Proceedings. vol. VIII, nº 2/4. Her Majesty's Stationery Office. London, England.

Communauté de travail pour les enquêtes socio-psychologiques sur le bruit des avions. éds. 1974. Enquêtes socio-psychologiques sur le bruit des avions dans le périmètre des trois aéroports suisses de Zurich, Genève, et Bâle. Office fédéral de l'air. Berne, Switzerland.

Connor Development Services Limited. 1977. Public Participation in Airport Planning: A Case Study of the Hamilton Airport Study. Préparé pour Transports Canada. Oakville, Ontario.

Conservation Council of Ontario. 1971. Noise in the Environment: Causes, Effects, Controls. Compte rendu: «Conference on Noise in the Environment» tenu le 28-29 avril 1971 à Toronto, Ontario.

Crowley, Ronald W. 1970. Benefit-Cost Analysis for Local Airports: A Case Study of Oshawa Airport. Pour le compte de Transports Canada. Ottawa, Ontario.

_____. 1972. Effets de l'implantation d'un aéroport sur la valeur foncière: étude de cas. Ministère d'État aux Affaires urbaines. Document de travail nº A.72.4f. Ottawa, Ontario.

Dansereau, Pierre. 1976*a*. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal – Le Cadre d'une recherche écologique interdisciplinaire. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

_____. 1976*b*. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal – Les Dimensions et la dynamique de paysage de Mirabel. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

Deem, Warren H., et Reed, John S. 1966. Airport Land Needs. Arthur D. Little Inc. Cambridge, Massachusetts.

Ecologistics Limited. 1975*a*. Methodology for Assessing the Impact of an Airport Project on the Employment and Income Levels Component. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires. Transports Canada. Ottawa, Ontario.

_____. 1975*b*. Methodology for Assessing the Impact of an Airport Project on the Sense of Community Component. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires. Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Environmental Control Consultants. Canadian-British Consultants Limited. 1977. Measures to Mitigate and Ameliorate the Adverse Effects on the Physical Environment (Excluding Aircraft Noise) by Airport Expansion, Development and Operations. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires. Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Environnement Canada. 1973. Environmental Guidelines for the Construction and Operation of the Pickering Airport. Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1975. Pollution Studies of the Proposed Vancouver International Airport Expansion. EPS 5-PR-75-1, 2 et 3. Service de la protection de l'environnement. Vancouver, Colombie-Britannique.

_____. 1976*a*. An Environmental Impact Assessment of the Vancouver International Airport Expansion Proposals: A Summary Report. Sous-Comité de l'écologie du Comité de planification de l'aéroport international de Vancouver. Direction générale des terres, Service de la gestion de l'environnement. Vancouver, Colombie-Britannique.

_____. 1976*b*. Transportation and the Environment. DOE Position Paper. Ottawa, Ontario.

_____/Transports Canada. 1979. An Ecological Land Survey of the Saint John Airport, New Brunswick. Préparé pour le Service de la gestion de l'environnement (Région de l'Atlantique), Environnement Canada en coopération avec la Direction des installations aéroportuaires, Administration aérienne (Région de l'Atlantique), Transports Canada. Moncton, Nouveau-Brunswick.

EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal. 1976. Atlas EZAIM. Colligé par Pierre Dansereau, Peter Brooke Clibbon, et Gilles Paré. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

Federation of Hamilton Environmental Groups. 1971. Mount Hope Airport: Economic and Environmental Implications of Proposed Expansion. Préparé par S. Lafranco, *et al.* McMaster University. Hamilton, Ontario.

Ferguson, Keith D. 1977. «Minimizing the Environmental Impact of Urea De-Icer From Airport Runways.» Thèse de maîtrise. Faculty of Science, University of British Columbia. Vancouver, Colombie-Britannique.

Fortin, Jean-N., et Saint-Jean, Richard. 1976. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal – Aménagement aéroportuaire et changement social rapide. Recherches en écologie humaine. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

Galloway, W.J., et Bishop, D.E. 1970. Noise and Exposure Forecasts: Evolution, Evaluation, Extensions, and Land Use Interpretations. Prepared for Office of Noise Abatement, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation. Bolt Beranek and Newman Inc. Van Nuys, California.

Ganguli, H.C., et Prakash Rao, M.S. 1971. Human Factor Aspects of Aircraft Noise. Vikas Publications. Delhi, India.

Gautrin, J.-F. 1975. «An Evaluation of the Impact of Airport Noise on Property Values with a Simple Model of Urban Land Rent.» Land Economics. vol. 51, nº 1, pp. 80-86. University of Wisconsin Press. Madison, Wisconsin.

Giovando, L.F. 1975. The Proposed Expansion of the Vancouver International Airport: Some Oceanographic and Related Considerations. Pêches et Océans. Victoria, Colombie-Britannique.

Globe and Mail. 1981 «New Crown Agency Set to Co-ordinate Return of Land near Mirabel.» 4 février 1981, p. 10. Canadian Newspapers Company Ltd. Toronto, Ontario.

Goyeite, David P. 1974. «Airport Neighbours: Planning for Noise Pollution and Airport Vicinity Activities.» M.PL. Thèse. Department of Regional Planning, Queen's University. Kingston, Ontario.

Groupe de travail sur la gestion aéroportuaire. 1979. L'incidence économique d'un aéroport sur la région qu'il dessert. Administration canadienne des transports aériens, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Harvey, M.E.; Frazier, J.W.; et Matulionis, M. 1979. «Cognition of a Hazardous Environment: Reactions to Buffalo Airport Noise.» Economic Geography. vol. 55, nº 4, pp. 263-286. Clark University. Worcester, Massachusetts.

Hauer, E. 1972. «Noise and Airport Planning.» Readings in Airport Planning. Centre for Urban and Community Studies and Department of Civil Engineering, University of Toronto. Toronto, Ontario.

Hemingway, J.R., et Gidamy, H. 1979. «Noise from Air and Railway Transport.» Noise in the Human Environment: Volume 1. Édité par H.W. Jones. Publication No. ECA79-SP/1. Environment Council of Alberta. Edmonton, Alberta.

Hemming, D.R. 1971. «Siting of a Major Airport: The Canadian Experience.» Communication présentée à «Twelfth Anglo-American Aeronautical Conference» tenu le 7-9 juillet 1971 à Calgary, Alberta.

Hurtubise, F.G.; McKay, D.H.; et Macenko, F. 1978. Aircraft Pollution: Noise and Other Types EPS 3-EC-78-13. Direction générale du contrôle des incidences environnementales, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Institution of Civil Engineers. 1973*a*. Airports for the 80's. Compte rendu: «Fourth World Airports Conference» tenu en avril 1973 à London, England.

_____. 1973*b*. «The Siting of Airports in the Total Environment.» Airports for the 80's. Compte rendu: «Fourth World Airports Conference» tenu en avril 1973 à London, England.

_____. 1973*c*. «Social and Economic Consequences of Airports.» Airports for the 80's. Compte rendu: «Fourth World Airports Conference» tenu en avril 1973, à London, England.

Isbester, F; Betak, J.; et Wade, J. 1980. A Study of the Impact of Expanding Mount Hope Airport. Préparé pour Hamilton Economic Development Commission. Centre for Applied Research and Engineering Design Incorporated, McMaster University. Hamilton, Ontario.

James F. MacLaren Ltd. 1975. A Study of Environmental Problems at Toronto International Airport. Pour le compte du Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Toronto, Ontario.

J.L. Richards & Associates Limited. 1971. Pollution Effect of Storm Runoff from Large Airports. Pour le compte de la Direction d'ingénierie et d'architecture, Ministère des Transports. Ottawa, Ontario.

_____. 1975. Policy and General Guidelines: Airport Environmental Assessment and Protection – Groundwater and Water Quality. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Johnston, G.W. 1972. V/STOL Community Annoyance due to Noise Proposed Indices and Levels. Pour le compte de Toronto/York Transportation Committee. Institute for Aerospace Studies, University of Toronto. Toronto, Ontario.

Kennedy, L.W., et Faulkner, M.G. 1979. «Problems of Measuring Community Reaction to Noise.» Noise in the Human Environment: Volume 1. Édité par H.W. Jones. Publication No. ECA79-SP/1. Environment Council of Alberta. Edmonton, Alberta.

Lanfranco, Sam, *et al.* 1971. Mount Hope Airport: Economic and Environmental Implications of Proposed Expansion. Pour le compte de Federation of Hamilton Environmental Groups. McMaster University. Hamilton, Ontario.

Laverdière, C., et Guimont, P. 1976. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal – Le Milieu physique. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

Lee, T.G., et Jones, H.W. 1980. Noise Study on Older Residential Property. Transportation Department, City of Calgary. Calgary, Alberta.

Lewis, K.R. 1970. «Residential Areas and Civil Aviation Airport Location Criteria.» Thèse de maîtrise. University of British Columbia. Vancouver, Colombie- Britannique.

Lombard North Group. 1975. Environmental Impact Assessment of Residential Development in the Leduc/International Airport Area. Préparé pour Environmental Co-ordination Services, Alberta Environment. Calgary, Alberta.

MacFarlane, Douglas G. 1975. «A Process for the Planning of Regional Airports and Their Environs in Canada, with Emphasis on Design Criteria for Comprehensive Land-Use Planning.» Thèse de maîtrise. University of Waterloo. Waterloo, Ontario.

MacGougan, G.R. 1972. «Airport Financing in Canada.» Readings in Airport Planning. Centre for Urban and Community Studies et Department of Civil Engineering, University of Toronto. Toronto, Ontario.

Marriot, Peter J., et Cook, Bryan D. 1975. «Aéroports et écologie au Canada.» Les Aéroports et l'environnement. Organisation de Coopération et de Développement Économique. Paris, France.

Marron, Kevin. 1980. «Hamilton's Years of Waiting over; Airport Expansion Gets Go-ahead.» Globe and Mail. 31 décembre 1980, p. 9. Canadian Newspapers Company Ltd. Toronto, Ontario.

Marsan, André. 1972. Écologie et planification: Intégration des facteurs écologiques dans la planification. Écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal. Centre de Recherches écologiques de Montréal. Montréal, Québec.

_____, *et al.* 1976. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal – Écologie de développement: essai d'une méthodologie d'intégration. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

Martin, Larry R.G. 1972. Land Use Dynamics: The Toronto II Airport Study – Land Ownership and Market Analysis. Pour le compte de Environnement Canada et Administration canadienne des transports aériens, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Mary, Hans-Werner. 1975. «The Influence of Aircraft Noise Annoyance on Single-Family House Prices: A Case Study of Edmonton's (Alberta) Industrial Airport.» Thèse de maîtrise. Department of Geography, University of Alberta. Edmonton, Alberta.

McArthur, Neil M. 1965. Airport and Community: Five Case Studies of Local Airport Land Use. Pour le compte de Ministère des Transports. Ottawa, Ontario.

McLaren, J.P.S. 1979. «The Law Relating to Noise.» Noise in the Human Environment: Volume 1. Édité par H.W. Jones. Publication No. ECA79-SP/1. Environment Council of Alberta. Edmonton, Alberta.

McMillan, M.L.; Reid, B.G.; et Gillen, D.W. 1979. «An Approach Towards Improved Estimates of Willingness to Pay for Public 'Goods' from Hedonic Price Functions: A Case of Aircraft Noise.» Department of Economics, University of Alberta. Edmonton, Alberta.

McNairn, Colin H. 1972. Airport Noise Pollution: The Problem and the Regulatory Response. Transportation Reprint No. 6. University of Toronto/York University Joint Transportation Centre. Toronto, Ontario.

McNeil, R.; David, N.; et Mousseau, P. 1976. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal – Les Oiseaux et le péril aviaire. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Quebec.

Metropolitan Toronto and Region Conservation Authority. 1974. Extra-Site Impact Project. Préparé pour Joint Environmental Co-ordinating Committee of the Joint Projects Co-ordinating Committee. North Pickering Project and New Toronto International Airport. Toronto, Ontario.

M.I.L. Research Ltd. 1971. Second Survey of Aircraft Noise Annoyance around London (Heathrow) Airport. Préparé pour the Office of Population Censuses and Surveys, Social Survey Division, on Behalf of the Department of Trade and Industry, Great Britain. Her Majesty's Stationery Office. London, England.

Neales, W.H.S. 1972. «Decision Making in Airport Planning and Design.» Readings in Airport Planning. Centre for Urban and Community Studies et Department of Civil Enginnering, University of Toronto. Toronto, Ontario.

Ontario. Ministère du Logement. 1978. Land-use Policy Near Airports – Based on the Noise Exposure Forecast (NEF) System. Direction des communications. Toronto, Ontario.

Organisation de Coopération et de Développement Économique. 1975. Les Aéroports et l'environnement. Paris, France.

_____. Environment Directorate 1973. Economic and Urbanisation Impacts of International Airports: An Assessment of the Methodological Issues and Policy Implications. Groupe sectoriel sur l'environnement urbain. Paris, France.

_____. Groupe sectoriel sur l'environnement urbain. 1975. «Incidences du développement des aéroports sur l'urbanisation et l'environnement.» Les Aéroports et l'environnement. Paris, France.

_____. Secrétariat. 1975. «Incidences des aéroports internationaux sur l'économie et l'urbanisation.» Les aéroports et l'environnement. Paris, France.

Papanicolaou, Emmanuel N. 1978. «The Impact of Mirabel Airport (Montréal, Québec) on the Surrounding Region.» Thèse de maîtrise. Department of Regional Planning, McGill University. Montréal, Québec.

Peat, Marwick, and Partners/De Leuw Cather Canada Ltd. 1974. Vancouver International Airport Ground Transportation Study: Existing System Analysis. Vancouver, Colombie-Britannique.

Pendakur, V. Setty. 1972. Airport Access in Canada. Préparé pour Centre de développement des transports, Transports Canada. Montréal, Québec.

_____. 1974. Canadian General Aviation. Versatile Publishing Co. Ltd. Vancouver, Colombie-Britannique.

Pratt, D.H. 1972. «Stol Air Transport Systems in Canada.» Readings in Airport Planning. Centre for Urban and Community Studies et Department of Civil Engineering, University of Toronto. Toronto, Ontario.

P.S. Ross and Partners. 1976. The Impact of Ottawa International Airport on the Regional Economy. Pour le compte d'Administration canadienne des transports aériens, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Rackl, Robert. 1973. A Summary of the U.S. Environment Protection Agency's Aircraft/Airport Noise Report Study. EPS 3-EP-73.1. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Radzius, V.A. 1977. Oil Spill Containment and Cleanup in the Drainage System of the Airport. Brouillon. Direction des services des aéroports et de la construction, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Reid, Bradford G. 1977. «Aircraft Noise and Residential Property Values: Hedonic Estimates of the Costs of Aircraft Noise in the City of Edmonton (Alberta).» Thèse de maîtrise. Department of Economics, University of Alberta. Edmonton, Alberta.

Reid, L.D. 1972. «The Control of Air Traffic Near Airports.» Readings in Airport Planning. Centre for Urban and Community Studies et Department of Civil Engineering, University of Toronto. Toronto, Ontario.

Répertoire immobilier central (RIC). 1981. Travaux publics Canada. Ottawa, Ontario.

Richmond Review. 1982. «Third Runway Issue: Community Forum Keeps Chipping Away.» 22 janvier 1982, pp. 1-2. M. Poskitt. Richmond, Colombie-Britannique.

R.L. Walker and Partners. 1975. Evaluation of the Land Use Component of Airport Impacts. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Roche Associés Ltée. 1978*a*. Dorval Airport Environmental Emergency Plan. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Sainte-Foy, Québec.

_____. 1978*b*. Ottawa Airport Environmental Emergency Plan. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Sainte-Foy, Québec.

_____. 1978*c*. Halifax Airport Environmental Emergency Plan. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Sainte-Foy, Québec.

Rogers, R.E. 1976. Commercial Supersonic Air Transportation in Alberta: A Preliminary Analysis of Environmental Impact Information. Environment Conservation Authority. Edmonton, Alberta.

RVA Environmental Planning Consultants. 1975. Environmental Impact Assessment Guidelines Detailing the 'Community Services' Component of the Social Environment. Pour le compte de Transports Canada. Ottawa, Ontario.

Smith, T., et Iwanycky, D. 1979. Étude sur les collisions aviaires aux aéroports canadiens – 1979 Rapport sommaire. Centre de recherche et de développement, Transports Canada. Montréal, Québec.

Société centrale d'hypothèques et de logement. 1978. Nouveaux secteurs résidentiels à proximité des aéroports. Ministère d'État chargé des Affaires urbaines. Ottawa, Ontario.

Société multidisciplinaire d'études et de recherches de Montréal Inc. 1974. Policy and Guidelines for Airport Environmental Assessment and Protection. Pour le compte de Transports Canada. Montréal, Québec.

_____. 1975*a*. Detailed Environmental Guidelines for Airport Operation. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Montréal, Québec.

_____. 1975*b*. Detailed Environmental Guidelines for Airport Planning – Definitions of Standards: Aesthetic and Human Interest Component. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Montréal, Québec.

_____. 1975*c*. Detailed Environmental Guidelines for Airport Planning – Definition of Standards: Recreational Component. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Montréal, Québec.

_____. 1975*d*. Environmental Design Manual for Airports. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Montréal, Québec.

_____. 1977. Training Package Environmental Protection Design and Construction: Final Report. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Montréal, Québec.

Society of Automotive Engineers Incorporated. 1971*a*. Compte rendu: «Conference on Aircraft and the Environment.» Part I. Washington, D.C.

_____. 1971*b*. Compte rendu: «Conference on Aircraft and the Environment.» Part 2. Washington, D.C.

Solman, V.E.F. 1973. «Influence of Garbage Dumps near Airports on the Bird Hazard to Aircraft Problem.» Comptes Rendus: Conférence nationale sur des problèmes de génie urban relatifs aux terrains. Édité par W.J. Eden. Mémoire technique nº 109. Comité associé sur la recherche géotechnique, Conseil national de recherches Canada. Ottawa, Ontario.

_____. 1974. «Birds and the Aerospace Industry.» Communication présentée à «First Canadian World Conference, Aerospace and the Community of Man» tenu le 5-8 août 1974, à Vancouver, Colombie-Britannique.

Speirs, Rosemary. 1979. «Shelved Airport Site is Victim of Neglect.» Globe and Mail. 15 juin 1979, p. 1. Canadian Newspapers Company Ltd. Toronto, Ontario.

Stevenson, Gordon McKay, Jr. 1972. The Politics of Airport Noise. Duxbury Press. Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont, California.

Stewart, Walter. 1979. Paper Juggernaut: Big Government Gone Mad. McClelland and Stewart Ltd. Toronto, Ontario.

Taylor, E.W. 1974. The Vancouver International Aiport Expansion Proposals and Possible Impact on Wildlife of the Fraser River Estuary. Service canadien de la faune, Environnement Canada. Delta, Colombie-Britannique.

Terre. 1981. «Terres en périphérie de Mirabel.» vol. 2, nº 2, p. 1. Direction générale des terres, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Tessier, Jean-Guy. 1974. «Implications du regroupement des fermes dans le secteur de Saint-Hermas, région aéroportuaire de Mirabel (Montréal, Québec).» M.A.T.D.R. Université Laval. Québec, Québec.

Thurlow and Associates. Environmental Control Consultants Ltd. 1975. A Methodology for Assessing Impact of Airport Construction Projects on «Plants and Animals Component» of Airport Physical Environments. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

_____. 1976. Comparative Environmental Assessment Study of Alternative Airport Sites at Hamilton. Pour le compte de Toronto Area Airports Project, Transports Canada. Toronto, Ontario.

Transports Canada. n.d. Aéroports de l'Arctique. Publié en collaboration avec les gouvernements du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest. Ottawa, Ontario.

_____. 1971*a*. Aesthetics and Environment. Bureau d'aménagement du nouvel aéroport international de Montréal. Ottawa, Ontario.

_____. 1971*b*. A Guide to Planning of Airport Land for Commercial Use. Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1972. The Financial Implications of Adjacent Land Management: Progress Report. Toronto Area Airports Project, Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1973*a*. Airport Land Use Planning Guide. Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1973*b*. Environmental Terrain Study. Toronto Area Airports Project, Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1973*c*. Land Use Standards Related to Noise Exposure. Bureau d'aménagement du nouvel aéroport international de Montréal. Ottawa, Ontario.

_____. 1973*d*. Statistics and Forecasts – Volume V: Forecast of Residential Distribution of Mirabel Airport Employees, 1975-1985. Bureau d'aménagement du nouvel aéroport international de Montréal. Ottawa, Ontario.

_____. 1974*a*. Agriculture and the new Toronto International Airport: An Introductory Analysis. Préparé par Agrology Consultants Ltd. pour l'Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1974*b*. Agriculture and the New Toronto International Airport Phase II. Préparé par Agrology Consultants Ltd. pour l'Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1974*c*. The Environmental Considerations of Airport Construction. Toronto Area Airports Project, Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1973*d*. Environmental Factors in Canadian Air Transportation: Review and Prognosis. Direction de l'aéronautique civile. Ottawa, Ontario.

_____. 1974*e*. Estimates of Population Affected by Aircraft Noise Under Various Traffic Assignments: TIA Malton and NTIA Pickering. Toronto Area Airports Project, Administration canadienne des transports aériens Ottawa, Ontario.

_____. 1974*f*. New Toronto International Airport: Pickering: Written Summary. Toronto Area Airports Project, Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1975*a*. Aeronautical Noise Study. Vancouver International Airport Master Plan Project. A Report of the Airport Planning Committee. Ottawa, Ontario.

_____. 1975*b*. An Economic Study of the Significance of Vancouver International Airport. A Report of the Vancouver International Airport Planning Committee. Ottawa, Ontario.

_____. 1975*c*. Inventory and Preliminary Capacity Analysis of General Aviation Area Airport Sites in the Lower Mainland. Report of the Airport Facilities Sub-Committee. Vancouver International Airport Master Plan Project. Ottawa, Ontario.

_____. 1975*d*. Vancouver Area Airports System Traffic Allocation Scenarios. A Report of the Airports System Sub-Committee. Vancouver International Airport Master Plan Project. Vancouver, Colombie-Britannique.

_____. 1976*a*. Protection de l'environnement – Construction. Direction générale des services des aéroports et de la construction, Direction des installations aéroportuaires, Division des bâtiments. Ottawa, Ontario.

_____. 1976*b*. Programme suggéré pour le contrôle des conditions environnementales des aéroports. Service des aéroports et de la construction, Direction des installations aéroportuaires, Division de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1977*a*. Protection de l'environnement opérations aéroportuaires. Direction générale des services des aéroports et de la construction, Direction des installations aéroportuaires, Division de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1977*b*. Protection de l'environnement dans l'Arctique – Planification. Direction générale des services des aéroports et de la construction, Direction des installations aéroportuaires, Division de l'environnement Ottawa, Ontario.

_____. 1977*c*. Protection de l'environnement – Conception. Direction générale des services des aéroports et de la construction, Direction des installations aéroportuaires, Division de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1977*d*. Protection de l'environnement – Planification. Direction générale des services des aéroports et de la construction, Direction des installations aéroportuaires, Division de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1978*a*. L'Administration canadienne des transports aériens. nº TP-1717F. Ottawa, Ontario.

_____. 1978*b*. Land Use in the Vicinity of Airports. Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1978*c*. L'ADAC et le transport aérien sur de courtes distances au Canada. Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1979. La Politique de l'ACTA sur la consultation publique. Ottawa, Ontario.

_____. 1980*a*. Protection de l'environnement: Conception et construction - Sud du Canada. Direction générale des services des aéroports et de la construction, Direction des installations aéroportuaires, Division de l'environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1980*b*. Transports Canada - Un Survol. TP2491F. Ottawa, Ontario.

_____. 1980*c*. Vancouver International Airport: Draft Airport Master Plan. Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1981*a*. Flying High: The 50th Anniversary of Vancouver International Airport, 1931-1981. Administration canadienne des transports aériens. Vancouver, Colombie-Britannique.

_____. 1981*b*. Report on Comments - Vancouver International Airport: Draft Airport Master Plan. Administration canadienne des transports aériens. Ottawa, Ontario.

_____. 1981*c*. Rapport annuel de Transports Canada. Approvisionnements et Services Canada. Ottawa, Ontario.

_____/Province of Saskatchewan. 1977. Regina Airport Study: A Summary of the Final Report and Recommendations. Pour le Compte du Ministère des Transports (Canada) et the Minister of Municipal Affairs (Saskatchewan).

United States. Department of Housing and Urban Development. 1972. Aircrat Noise Impact: Planning Guidelines for Local Agencies. Préparé par Wilsey & Ham. HUD Planning Guidance Report No. TE/NA-472. Office of Research and Technology and Office of Community Planning and Management. Washington, D.C.

_____. Department of Transportation. 1973. Final Environmental Impact Statement for Policy Regarding Role of Washington National Airport. Federal Aviation Administration. Washington, D.C.

_____. Federal Aviation Administration. 1967. The Airport: Its Influence on the Community Economy. Department of Transportation. Washington, D.C.

_____. National Industrial Pollution Control Council. 1972. Airports and the Community. Sub-Council Report. Pour le compte de the U.S. Secretary of Commerce. Washington, D.C.

University of Toronto. 1972. Readings in Airport Planning. Centre for Urban and Community Studies et Department of Civil Engineering. University of Toronto. Toronto, Ontario.

Urban Noise Consultants Inc. 1975. Noise Study of Residential Areas Near T.I.A. Malton in the Absence of Aircraft. Toronto Area Airports Project, Transports Canada. Willowdale, Ontario.

Vance, J.A. 1972. «Airport Access and Parking.» Readings in Airport Planning. Centre for Urban and Community Studies et Department of Civil Engineering, University of Toronto. Toronto, Ontario.

Vancouver Sun. 1981. «Environment Study Set for 2nd Runway.» 7 décembre 1981, p. 3. C.W. Davey. Vancouver, Colombie-Britannique.

Walden, F.A., et Griffiths, M. 1974. An Ecological Study of the North Pickering Project Area and Toronto Airport II Site. Préparé par Ontario Ministry of Natural Resources for North Pickering Project Study, Ontario Ministry of Housing, et Toronto Area Airports Project, Transports Canada. Toronto, Ontario.

Walther, H.O. 1960. A Study of the Impact of Airports on the Market Value of Real Estate in the Adjacent Areas. Port of New York Authority. New York, New York.

Waltz, D., et Chartrand, N. 1976. EZAIM: écologie de la zone de l'aéroport international de Montréal – Écologie végétale et aménagement du territoire. Les Presses de l'Université de Montréal. Montréal, Québec.

W.L. Wardrop and Associates Ltd. 1977. Arctic Sites Water Supply; Liquid and Solid Waste Management. Pour le compte de la Direction des installations aéroportuaires, Transports Canada. Winnipeg, Manitoba.

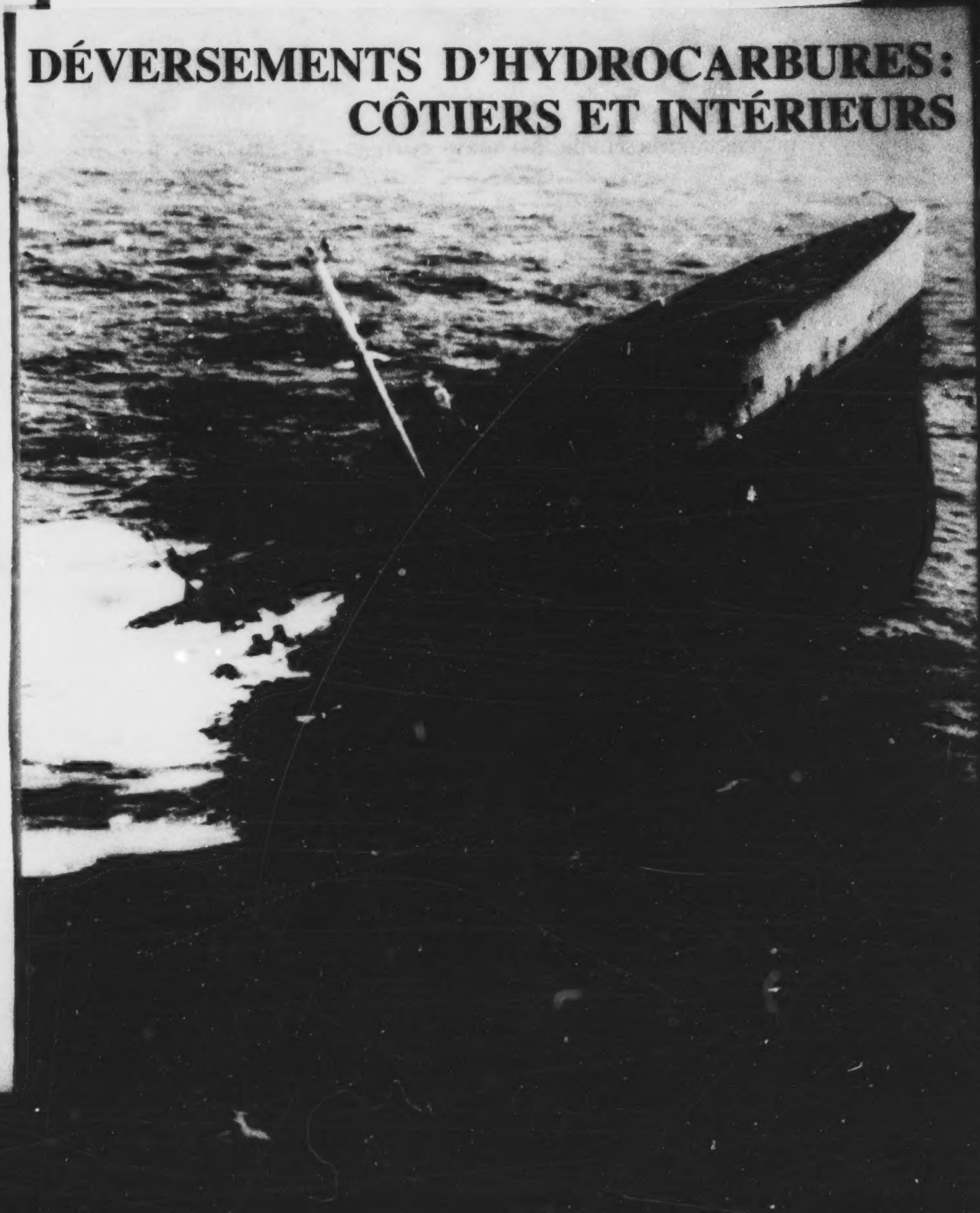
Wood, W.G., et Geenan, T.E. 1979. Stuuy of Bird Strikes at Canadian Airports – 1979 Risk and Statistical Analysis. Pour le compte du Centre de recherche et de développement, Transports Canada. Montréal, Québec.

W. Strok and Associates. 1970. A Physical Development Study of Selected Urban Centres for a New International Airport for Toronto. Pour le compte du Ministère du Trésor et de l'Économie (Ontario). Toronto, Ontario.

Young, H. 1976. «A Canadian National Airports Plan Concept.» Communication présentée à «5th World Airports Conference and Exhibition» tenu le 5-7 mai 1976, à Brighton, England.

Young, H.B. 1974. «Federal Airport Compatibility with the Community.» Communication présentée à l'Association des routes et transports du Canada à Toronto, 26 septembre 1974. Service des aéroports et de la construction, Transports Canada. Ottawa, Ontario.

DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES: CÔTIERS ET INTÉRIEURS



DÉVERSEMENTS D'HYDROCARBURES: CÔTIERS ET INTÉRIEURS

Les déversements côtiers d'hydrocarbures et leur impact sur les terres ..... E.H. Owens

L'accident du KURDISTAN: L'impact sur le littoral d'un déversement de pétrole en mer ..... E. Kienholz

Les déversements intérieurs d'hydrocarbures et leur impact sur les terres ..... W.B. McGill et D. Bergstrom

LES DÉVERSEMENTS CÔTIERS D'HYDROCARBURES ET LEUR IMPACT SUR LES TERRES

Edward H. Owens*

* *M. Owens est vice-président de Woodward-Clyde Consultants Victoria (Colombie-Britannique)*

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	135
Les causes des déversements et l'origine des hydrocarbures déversés	135
Pourquoi les déversements suscitent-ils tant de préoccupations?	136
L'élaboration d'un plan de lutte contre les déversements	136
Effet et persistance des hydrocarbures déversés et échoués sur les plages	136
Déversements dans l'Arctique et ailleurs	138
PROFIL	138
Ampleur des déversements et zones à risques élevés	138
Répartition volume—fréquence des déversements (selon les quantités en jeu)	139
Répartition volume—fréquence des déversements (par région)	141
HISTORIQUE	141
Variations dans les risques de sinistre	141
L'évolution de la perception de l'impact des déversements	141
LES CONTRAINTES EXERCÉES SUR LES TERRES	142
Les contraintes exercées sur les terres par suite de la pollution par les hydrocarbures	142
L'environnement biologique	142
L'activité humaine	143
Déversements accidentels et perturbations naturelles	144
Le nettoyage et les contraintes exercées sur les terres	144
Le milieu biologique	144
Le milieu géologique	145
L'activité humaine	145
ÉTUDES DE CAS	146
Effets préjudiciables des déversements	146
Effets physiques	146
Utilisation des terres	147
Valeur des terrains: transformations visuelles et esthétiques: effets permanents	148
Mesures d'intervention destinées à réduire les contraintes	148
Effets préjudiciables des mesures d'intervention	148
Travaux de recherche	148
Projet PDHMMA	148
Recherche et développement relatifs aux effets des déversements d'hydrocarbures	149
Recherche et développement et mesures d'intervention contre les déversements d'hydrocarbures	149
Études sur les dangers des déversements (avant la catastrophe) et évaluations des effets (après la catastrophe)	149
Conclusion	150
ANNEXE I—OPÉRATIONS DE PROTECTION ET DE NETTOYAGE DES RIVAGES	151
Dispersion par voies chimique et physique	151
Enlèvement des hydrocarbures et des matières polluées	151
Logistique de l'intervention	151
Coûts du nettoyage	151
BIBLIOGRAPHIE	152

CARTES

1. Trafic total prévu pour 1995 140
2. Répartition des résidus d'hydrocarbures dans la zone littorale; au printemps de 1970, à la suite du déversement de l'ARROW en Nouvelle-Écosse 146
3. Résidus d'hydrocarbures dans la zone littorale, octobre 1973, d'après des observations aériennes 147

FIGURES

1. Série de profils transversaux de la plage d'Indian Cove dans la baie Chédabouctou, Nouvelle-Écosse 145

TABLEAUX

1. Comparaison des volumes des déversements en mer 138
2. Classification des ports selon le nombre de navires en transit (1978) 138
3. Classification des ports selon la quantité de pétrole brut et de produits pétroliers transportés (1978) 139
4. Tonnage manutentionné dans les ports canadiens, en décembre 1978 139
5. Trafic total dans les canaux artificiels 139
6. Déversements marins au Canada recensés dans le système NATES entre 1976 et 1980 et classés selon le volume et la cause 140
7. Liste partielle des principaux déversements au Canada, 1970–1980 141
8. Répartition géographique des déversements côtiers 1976–1980 142
9. Augmentation de la taille des pétroliers océaniques 142
10. Données sommaires sur les hydrocarbures pétroliers déversés dans les océans 142
11. Les techniques de nettoyage des marais 144

INTRODUCTION

Les causes des déversements et l'origine des hydrocarbures déversés

Un déversement d'hydrocarbures peut se produire à n'importe quel moment du processus d'exploitation pétrolière, que ce soit pendant l'exploration, l'extraction, le transport ou le stockage, et il peut se produire de diverses façons, depuis l'éruption d'un puits jusqu'aux accidents survenant dans un terminal maritime ou en mer entre deux pétroliers. Les déversements les plus massifs et les plus graves pour les côtes sont provoqués soit par des éruptions, soit par des accidents de pétroliers. Les petits déversements sont courants, mais ils ne sont habituellement pas déclarés ou n'attirent pas l'attention des médias d'information. Entre 1974 et 1978, soit sur une période de cinq ans, 462 déversements d'hydrocarbures en mer ont été signalés à Environnement Canada. Nous ne possédons aucune donnée sur le nombre des petits déversements non déclarés.

Les caractéristiques d'un déversement varient beaucoup selon le type d'hydrocarbures déversés. Par exemple, le devenir et la persistance du pétrole diffèrent selon qu'il s'agit d'essence d'aviation ou au contraire de Bunker C ou de brut lourd en raison des différences de leur composition chimique après raffinage. À cause des variations dans le type et le volume des hydrocarbures déversés et de la grande diversité des milieux marins et littoraux exposés à un déversement, chaque déversement constitue un cas unique. Les seuls dénominateurs communs sont d'une part les effets que les hydrocarbures peuvent avoir sur les écosystèmes côtiers et d'autre part les moyens utilisés pour minimiser les dommages causés par les déversements.

Photo 1. Déchargement d'un transporteur de brut dans une station de transfert offshore près de Saint-Jean (Nouveau-Brunswick)
E.H. Owens

Les déversements d'hydrocarbures sont surtout provoqués par les activités industrielles (photo 1). Au cours des phases d'exploration et d'extraction, ce sont les éruptions qui présentent les risques d'accident les plus élevés. Ces dernières années, les éruptions les plus graves ont eu lieu dans le golfe du Mexique (IXTOC I : 3,1 millions de barils*), le golfe de Guinée (FUNIWA 5 : 200 000 barils) et le golfe d'Arabie (HASBAH 6 : 80 000 barils). Toutefois il y a dans de nombreuses parties du globe des suintements ou des déversements naturels, comme celui qui s'est produit notamment dans l'inlet Scott sur la côte nord-est de l'île Baffin, dans les Territoires du Nord-Ouest (Loncarevic et Falconer, 1977; Levy, 1981).

* *Dans la marine, on indique traditionnellement le nom des navires entièrement en lettres majuscules. Nous donnons ci-dessous les équivalents approximatifs:*

1 t (tonne métrique) d'hydrocarbures = *7 à 9 barils, selon la densité et le type d'hydrocarbure.*
= *1,11 à 1,43 m³ (mètre cube)*
= *1 110 à 1 430 l (litres)*

Les accidents maritimes, échouages, naufrages ou collisions de pétroliers constituent la deuxième grande cause de déversement. Le plus gros déversement survenu à ce jour dans les eaux canadiennes s'est produit en 1970 au cours du naufrage du pétrolier ARROW. Neuf mille tonnes de Bunker C ont alors été déversées dans la baie Chédabouctou en Nouvelle-Écosse. À titre de comparaison, mentionnons le naufrage de l'AMOCO CADIZ sur la côte de Bretagne en France où 200 000 t de pétrole brut ont été déversées. Parmi les autres accidents ayant causé de graves déversements dans les eaux canadiennes, mentionnons celui du KURDISTAN, du NEPCO 140 et du LEE WANG ZIN. Les gros déversements provoqués par la décharge accidentelle de la cargaison des pétroliers ou du fuel d'autres navires non pétroliers ont des effets dramatiques, mais sont relativement peu fréquents. Les décharges attribuables aux vidanges de cale ou de réservoir, qui se font presque régulièrement dans les eaux littorales, sont plus courantes. Le volume d'hydrocarbures déchargé à ces occasions est généralement très faible.

Parmi les autres causes de déversements côtiers, mentionnons la rupture de pipelines et les fuites provenant d'installations situées sur les rives. Le plus gros déversement attribuable à la rupture d'un pipeline connu à ce jour s'est produit dans le Thistle Field dans la mer du Nord, où environ 460 000 barils de pétrole brut ont été perdus en 1980. Les fuites provenant d'installations sur terre se produisent pendant le transfert ou le soutage. Les déversements sur terre peuvent parfois atteindre la zone littorale, comme cela a été le cas en 1970 dans la baie Déception (Québec), où environ 2 000 000 litres de combustible diesel et d'essence ont été déversés sur la glace côtière après la destruction d'un parc de stockage par une avalanche de neige fondante (Ramseier *et al.*, 1973).

Les principales causes des déversements côtiers sont donc les suivantes:

- éruptions
- accidents maritimes (échouages, naufrages, collisions)
- vidanges de cales
- accidents pendant le transfert
- déversements sur terre

La majorité de ces déversements peut être directement ou indirectement attribuée à l'erreur humaine; en effet, moins de 25 % des déversements sont dus au mauvais fonctionnement de l'équipement (Fingas *et al.*, 1979).

Le principal apport en hydrocarbures dans la mer vient directement des fleuves ou des pipelines. Toutefois, les déversements dont les causes sont énumérées ci-dessus perturbent davantage les écosystèmes côtiers et l'utilisation des zones côtières par l'homme. Le rejet régulier et continu d'hydrocarbures dans la mer à partir de la terre engendre des perturbations à plus long terme, ponctuellement moins dommageables que celles d'un gros déversement. Les hydrocarbures flottant à la surface de l'eau qui atteignent la ligne de rivage ont en général un impact grave, du fait de leur fort volume et du peu d'étendue de la zone polluée. Les déversements côtiers sont considérés comme des phénomènes particuliers, non comme une pollution fondamentale continue. D'autre part, les déversements en milieu marin ne perturbent pas tous la zone littorale: les déversements survenus lors de l'éruption de l'EKOFISK dans la mer du Nord et du naufrage de l'ARGO MERCHANT

au large de la Nouvelle-Angleterre n'ont ainsi jamais atteint les côtes adjacentes.

L'origine et les causes des déversements d'hydrocarbures sont très variées. Le volume et le type d'hydrocarbures, de même que les conditions du milieu au moment de l'accident, varient dans chaque cas: il n'y a pas deux déversements identiques.

Pourquoi les déversements suscitent-ils tant de préoccupations?

Les déversements d'hydrocarbures ne représentent qu'une contrainte parmi tant d'autres dans la zone littorale. Ils constituent une perturbation du milieu naturel provoquée par l'homme. Comme l'ampleur et le lieu des déversements ne peuvent être prévus, le même danger menace toutes les côtes.

L'arrivée accidentelle d'hydrocarbures dans la zone littorale peut, à divers degrés, menacer gravement ou perturber le milieu marin ou les activités humaines. En effet, certains composés contenus dans les hydrocarbures peuvent être toxiques pour les êtres vivants; les hydrocarbures peuvent aussi asphyxier la flore et la faune. Dans un cas comme dans l'autre, les perturbations provoquées chez chaque espèce peuvent avoir de graves répercussions sur l'écosystème côtier. Par exemple, une modification dans la population ou la répartition des capelans sur la côte atlantique peut avoir de graves répercussions sur les prédateurs comme la morue et, par ricochet, sur la pêche côtière. L'interruption de l'activité humaine normale par suite des perturbations provoquées par les hydrocarbures sur les espèces utilisées à des fins récréatives, commerciales ou de subsistance est l'un des principaux éléments dans l'évaluation du danger ou de l'impact éventuel d'un déversement. Il est rare que les hydrocarbures déversés sur les côtes ou dans les eaux côtières constituent une menace pour la sécurité ou la santé de l'homme.

La principale préoccupation que soulèvent les déversements d'hydrocarbures est l'interaction entre l'activité humaine et l'utilisation des ressources biologiques côtières. Une autre grave préoccupation est l'impact potentiel que les hydrocarbures déversés peuvent avoir sur les espèces rares, en péril ou en voie d'extinction. D'autre part, le public accorde généralement beaucoup d'importance à la détérioration des paysages (photo 2). La présence d'hydrocarbures sur les rivages n'est pas en soi un problème grave, sauf dans le cas des gros déversements comme celui de l'AMOCO CADIZ ou du TORREY CANYON, où d'énormes volumes d'hydrocarbures se sont échoués sur les rivages. Dans la plupart des cas, les hydrocarbures qui atteignent la côte ne la polluent pas en entier et, en conséquence, les effets d'un déversement et les problèmes soulevés par la présence des hydrocarbures sont habituellement ponctuels.

Photo 2. Plages abritées de cailloux et de galets du nord de la baie Chédabouctou, en mai 1970. Les sédiments intertidaux sont complètement recouverts d'une épaisse couche (5 à 10 cm) de Bunker C. Cette couche d'hydrocarbures a immobilisé les sédiments et a formé sur la plage un revêtement ressemblant à de l'asphalte; ce revêtement subsistait toujours en août 1973. Au milieu de l'été 1976, les hydrocarbures avaient disparu.
E.H. Owens

L'élaboration d'un plan de lutte contre les déversements

L'échouage du TORREY CANYON dans la Manche en 1967 a profondément transformé la perception qu'a le public des dommages que peut causer un déversement en mer. Il s'agissait du premier gros accident mettant en cause un pétrolier: plus de 135 000 m³ de pétrole brut ont été déversés à cette occasion, dont la plupart ont atteint les rivages adjacents dans le sud-ouest de l'Angleterre et le nord-ouest de la France. De nombreux déversements côtiers s'étaient bien sûr produits avant cet accident, mais la plupart d'entre eux étaient relativement petits ou n'avaient pas attiré l'attention du public et des médias (Campbell *et al.*, 1977). Si, avant 1965, aucun pétrolier n'avait un tonnage en lourd qui dépassât 180 000 t, en 1975 on en comptait plus de 350 sillonnant les océans. Ainsi, en un laps de temps très court, les risques de déversements graves ont augmenté dans des proportions énormes.

Le déversement consécutif à l'accident du TORREY CANYON a incité les autorités canadiennes à mettre au point un programme informel de lutte contre les déversements. Des mesures ont été prises pour intégrer la Garde côtière canadienne et le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources au sein d'une structure organisationnelle souple et pour acquérir de l'équipement d'intervention mobilisable en cas de déversement en mer. Ce lent processus d'évolution a pris un nouvel essor en 1970, par suite du naufrage du pétrolier ARROW dans la baie de Chédabouctou en Nouvelle-Écosse. Plus de 17 250 m³ de Bunker C ont été déversés à cette occasion, et une grande partie s'est échouée sur les rivages de l'Île du Cap-Breton et de la Nouvelle-Écosse. Le groupe d'intervention, de son nom de code «Opération pétrole», mis sur pied par le gouvernement fédéral en vue de maîtriser ce déversement, a recommandé dans le rapport qu'il a soumis au Cabinet la création d'un organisme d'intervention d'urgence capable de mettre en oeuvre une stratégie immédiate en cas de déversement et le perfectionnement des techniques en matière de récupération et de nettoyage des hydrocarbures déversés (ministère des Transports, 1970). Peu de temps après, on a assisté, avec la création du ministère de l'Environnement, à la mise sur pied du Service de la protection de l'environnement.

La Direction des interventions d'urgence, qui comprend une division des opérations, une division de la planification d'urgence et une division de la recherche et du développement, est venue se greffer à ce service. La première tâche de la Direction est d'évaluer le degré de préparation, à l'échelle nationale, et de coordonner la mise au point d'une meilleure technique de lutte contre les déversements. La Direction des interventions d'urgence et la Garde côtière canadienne travaillent en étroite collaboration, cette dernière étant la première responsable en matière de sécurité maritime.

La mise sur pied d'organismes d'intervention en cas de déversement côtier s'inscrit, d'une certaine façon, dans la nouvelle prise de conscience relative à l'environnement, apparue depuis le milieu et la fin des années 60. L'accroissement considérable du volume des hydrocarbures transportés par pétrolier et l'augmentation de la taille de ces pétroliers a accéléré le processus. Tout a commencé par une série de gros déversements qui se sont produits à la fin des années 60 et au début des années 70. Bien que l'accident du TORREY CANYON ait déjà fait apparaître les dommages que peuvent entraîner les gros déversements, ce n'est qu'avec le naufrage de l'ARROW dans la baie Chédabouctou que le mouvement a vraiment démarré au Canada pour la mise sur pied d'un organisme d'intervention et l'intensification de l'effort de recherche et de mise au point en matière de lutte contre les déversements.

Effet et persistance des hydrocarbures déversés et échoués sur les plages

Les hydrocarbures déversés sont naturellement dispersés par des processus physiques et biologiques sur des périodes qui varient selon le type et le volume d'hydrocarbures et les conditions du milieu. Ils peuvent également être récupérés et stockés grâce à certaines techniques de nettoyage et peuvent même, dans certains cas, être de nouveau raffinés en vue d'une utilisation ultérieure. Le devenir des hydrocarbures déversés dépend donc du processus de dégradation,

processus qui inclut l'évaporation, la photo-oxydation, la dissolution, la submersion et la biodégradation. La vitesse à laquelle a lieu cette dégradation est fonction des paramètres suivants:

- le type d'hydrocarbures
- le volume d'hydrocarbures
- la superficie des hydrocarbures exposés
- la température ambiante
- les niveaux d'énergie mécanique

Immédiatement après un déversement, les fractions légères des hydrocarbures tendent à s'évaporer rapidement, selon la composition de ceux-ci et la température de l'air et de l'eau. Toutes dégradation et dispersion ultérieures dépendent beaucoup des apports d'énergie mécanique reliés aux vents et aux vagues. Le taux de dispersion augmente proportionnellement au niveau d'énergie mécanique (Owens, 1977). Lorsque les hydrocarbures atteignent le rivage, leur taux de dégradation naturelle est influencé par leur répartition réelle sur la plage, par rapport à la zone d'activité des vagues ainsi que par leur pénétration ou leur enfouissement dans les sédiments côtiers. Une nappe de pétrole échouée sur le rivage pendant les vives eaux ou pendant une marée de tempête est généralement déposée au-delà de la limite de l'activité normale des vagues et n'est par conséquent pas influencée par l'énergie mécanique reliée à cette activité, sauf pendant les périodes ultérieures de haute mer (photo 3). On peut donc s'attendre à ce que ces hydrocarbures persistent plus longtemps que ceux qui sont échoués sur la plage dans la zone intertidale, soumise continuellement à l'action des vagues.

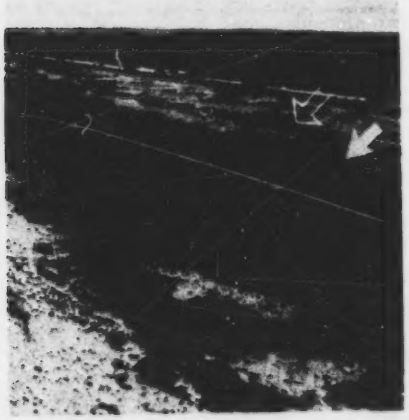


Photo 3. Les hydrocarbures échoués sur une plage de sable dans le Détroit de Magellan par suite de l'accident du METULA, à une époque où le niveau des eaux était très élevé, n'ont presque pas été touchés par l'action des vagues, même après deux ans et demi. La flèche en trait plein indique la limite des vives eaux et la flèche en trait clair, le niveau normal de la marée haute.
E.H. Owens

Les sédiments des plages sont constamment redistribués par l'action des vagues; les hydrocarbures échoués peuvent ainsi être rapidement enfouis et, par conséquent, protégés d'une éventuelle dispersion par les vagues. De la même façon, les hydrocarbures peuvent pénétrer dans les sédiments, notamment dans les plages de cailloux ou de galets, et ne pas être touchés par l'action des vagues, qui peut d'autre part éroder et redistribuer rapidement les sédiments et les hydrocarbures échoués. La persistance des hydrocarbures sur le rivage est reliée surtout au fait que la plage est sujette à l'érosion ou à l'accumulation de sédiments. L'érosion est habituellement due à la production de vagues de tempête par les systèmes de basse pression, tandis que le dépôt ou l'accumulation de sédiments se fait pendant les périodes relativement calmes entre les orages. Sur la côte ouest du Canada, ces cycles érosion-accumulation coïncident avec les variations saisonnières hiver-été dans les niveaux d'énergie des vagues. Les principaux facteurs environnementaux qui influent sur la persistance des hydrocarbures échoués sont la répartition de ces hydrocarbures dans la zone littorale et le niveau d'énergie des vagues à la ligne de rivage.

La vitesse de la dispersion naturelle dépend principalement du type d'hydrocarbure et de la force des vagues. La dégradation peut être considérée comme la dispersion de certains composants des hydrocarbures. Les composants les plus légers s'évaporent rapidement, immédiatement après l'exposition des hydrocarbures à l'air. Les composants plus lourds et moins volatils s'altèrent plus lentement, selon l'apport de l'énergie mécanique. Ainsi, les huiles légères, comme l'essence d'aviation ou le diesel, se dispersent beaucoup plus rapidement que les bruts ou les fuels lourds. Les caractéristiques des hydrocarbures déversés se modifient sans cesse à mesure que les différents composants se dispersent. Une huile relativement légère et volatile peut devenir très visqueuse au moment du déversement, et relativement stable après plusieurs jours à la surface de la mer. La dispersion naturelle des hydrocarbures déversés peut être divisée en trois étapes:

1) Évaporation des fractions légères immédiatement après l'exposition des hydrocarbures à l'air, c'est-à-dire lorsqu'ils se trouvent à la surface des eaux ou sur le rivage. Ce processus de dégradation est habituellement rapide au début du déversement; après les premières heures ou les premiers jours, il décroît vite.
2) La dispersion des hydrocarbures flottant à la surface des eaux ou échoués sur le rivage par l'action des vagues est le principal mécanisme de dispersion dans l'environnement marin. Pour que ce processus soit efficace à la ligne de rivage, il est nécessaire que les hydrocarbures soient échoués dans les limites de la zone d'activité normale des vagues; la vitesse à laquelle s'effectue leur dispersion physique est fonction du niveau d'énergie des vagues pendant la période suivant immédiatement le rejet des hydrocarbures sur la plage.

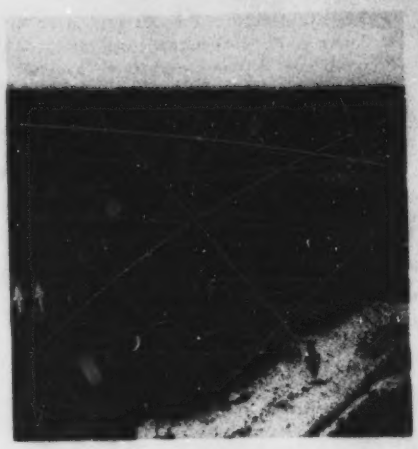


Photo 4. Le contraste entre les plages exposées et les plages abritées est évident sur cette photographie aérienne, prise à marée basse, des plages de cailloux et de galets de l'anse Black Duck (Nouvelle-Écosse), par suite d'une grave pollution. Cette photographie a été prise un mois après l'échouage des hydrocarbures sur la plage, à la suite du naufrage du pétrolier ARROW en 1970. Au début, les hydrocarbures couvraient toute la zone intertidale; puis, ceux qui se trouvaient sur la plage exposée ont été dispersés, ne laissant que des traces à la laisse de haute mer (indiquée par la flèche simple sur la photographie). La double flèche indique la laisse de haute mer de la lagune (Voir photo 5).
E.H. Owens

Photo 5. La zone intertidale de la lagune de l'anse Black Duck, près de la baie Chédabouctou, (Nouvelle-Écosse) 3 ans après le mazoutage de la rive. La photographie met en relief l'épi à l'avant-plan. (Voir photo 4)
E.H. Owens

3) Les hydrocarbures échoués au-delà de la limite de l'activité normale des vagues ou dans une zone très protégée, à faible action des vagues, sont dispersés par des processus biologiques, essentiellement microbiens. Ces processus sont en général très lents, s'échelonnant sur des années ou des décennies.

Les hydrocarbures légers échoués dans les limites de la zone d'activité des vagues sur des côtes exposées et à forte énergie ne devraient persister qu'une très courte période de temps s'étendant sur quelques jours. Le pétrole échoué dans des baies ou des lagunes abritées, au moment où le niveau des eaux est élevé, par exemple pendant une marée de tempête, ne subit normalement pas de décomposition physique et peut persister pendant des années ou même, dans certains cas, pendant des décennies (photos 4 et 5). Sur les côtes soumises à une érosion rapide (supérieure à 1 m par année) les hydrocarbures sont normalement dispersés à mesure que le processus d'érosion redistribue les sédiments littoraux. Cela est le cas, par exemple, sur des segments côtiers des Grands lacs et de la mer de Beaufort, où les vitesses annuelles d'érosion atteignent 3 mètres. Au contraire, les hydrocarbures échoués sur les côtes sujettes à une accumulation de sédiments devraient demeurer enfouis pendant une période considérable. En superposition à ces processus à long terme d'érosion et d'accumulation, les cycles normaux de redistribution des sédiments se déroulent selon des périodes de plusieurs jours et de mois (Owens, 1977). Les cycles d'érosion-accumulation sont habituellement reliés aux variations du niveau d'énergie des vagues à la ligne de rivage, lesquelles entraînent soit le transport des sédiments d'une manière perpendiculaire, soit la dérive littorale.

Le déplacement des hydrocarbures déversés est en grande partie déterminé par les vents, les marées et les courants. Les hydrocarbures qui se trouvent en zone littorale ont tendance à s'accumuler dans les secteurs abrités, où le niveau d'énergie mécanique des vagues est le plus faible, c'est-à-dire là où ils persistent le plus longtemps.

Déversements dans l'Arctique et ailleurs

Au Canada, les processus atmosphériques et océanographiques littoraux sont déterminés en grande partie par le climat. Sur toutes les côtes, sauf en Colombie-Britannique et dans le sud de la Nouvelle-Écosse, les périodes continues de températures sous le point de congélation entraînent chaque année le gel des eaux ou des embruns dans la zone littorale. La génération des vagues sur la côte est modifiée ou entravée par la présence de glace à la surface de l'eau ou dans la zone littorale elle-même. La formation de glace est donc un des principaux mécanismes régissant le niveau d'énergie mécanique des vagues à la ligne de rivage et la dégradation physique des hydrocarbures échoués. Les variations de la température ambiante modifient également le taux d'évaporation des composants les plus légers des hydrocarbures déversés. Les hydrocarbures persistent plus longtemps dans les régions où les températures sont basses et y exercent donc une contrainte plus prononcée sur l'environnement.

En général, du point de vue biologique, les côtes arctiques sont caractérisées par la faible diversité et le nombre peu élevé des espèces qui y résident (Owens et Robilliard, 1981*a*). Le décapage exercé par la glace et les basses températures qui sévissent pendant la majeure partie de l'année éliminent presque toutes les espèces intertidales, à l'exception des plus résistantes. La présence prolongée de la glace réduit la période d'activité biologique à la saison des eaux libres. Le gros de cette activité est concentré sur les côtes ou dans les eaux littorales, plutôt que sur la ligne de rivage elle-même. La diversité et l'abondance des espèces révèlent habituellement un changement très marqué selon que l'on se trouve en saison des glaces ou en saison d'eaux libres. En effet, l'activité biologique augmente pendant la courte période sans glace, au cours de laquelle se concentrent d'ordinaire les activités de reproduction et d'alimentation. Ainsi, le potentiel de reconstitution de certaines espèces après des perturbations majeures ou chroniques peut être, en milieu arctique, beaucoup plus faible que dans un autre milieu. De nombreuses espèces migratrices ne disposent que de quelques petits emplacements côtiers pour se reproduire. La densité des populations dans ces emplacements est par conséquent très élevée et une contrainte exercée sur l'habitat pourrait constituer une grave menace à la survie des espèces.

Le moment du déversement a donc, dans l'Arctique, une importance capitale. Les contraintes éventuelles exercées sur les espèces résidentes et migratrices y sont accrues, vu la probabilité d'une persistance prolongée des hydrocarbures échoués et le potentiel moindre de reconstitution naturelle des espèces touchées.

PROFIL

Ampleur du déversement et zones à risques élevés

Les contraintes exercées par un déversement d'hydrocarbures dans la zone littorale ne sont pas directement liées à la seule ampleur du déversement. Les caractéristiques biophysiques de la région touchée, l'époque de l'année et les propriétés physiques et chimiques des hydrocarbures sont des éléments-clés dans l'évaluation de l'impact éventuel ou réel du déversement. L'ampleur du déversement représente, toutefois, un facteur important dans l'évaluation de l'impact exercé sur le rivage, tant sur le plan de la superficie touchée que sur celui du degré de contrainte ponctuelle. Jusqu'à présent, les côtes canadiennes n'ont jamais été sujettes à un déversement de plus de 100 000 barils (tableau 1). La plupart des déversements survenus ont été relativement petits (moins de 100 barils) et leurs effets ont été habituellement très circonscrits.

TABLEAU 1.
Comparaison des volumes des déversements en mer

Source	Lieu	Quantité (barils)
AMOCO CADIZ	France	1 800 000
ARROW	Nouvelle-Écosse	60 000
KURDISTAN	Nouvelle-Écosse	57 000
NEPCO 140	Fleuve St-Laurent	8 800

Le repérage des zones côtières présentant des risques élevés de déversement est d'ordinaire en corrélation avec l'intensité des activités d'exploration, d'extraction, de transport ou de transfert des hydrocarbures. Il est couramment admis que les risques d'accident dus à une erreur humaine ou à un incident mécanique sont plus élevés dans les régions où naviguent un grand

TABLEAU 2.
Classification des ports selon le nombre de navires en transit (1978)

Port	Nombre de navires en transit
Vancouver	24 143
New Westminster	6 367
Montréal	5 955
Victoria	4 789
Windsor	3 404
Halifax	3 036
Sarnia	3 018
Thunder Bay	2 816
Nanaimo	2 727
North Sydney	2 688
St-Jean	2 326
Powell River	2 325
Campbell River	2 300
Sept-Îles	2 090
Québec	1 837
Hamilton	1 730
Port Cartier	1 499
Baie Comeau	1 439
Toronto	1 227
Sorel	1 069

Source: Statistique Canada, 1979.

nombre de pétroliers ou dans celles où se trouvent de grosses installations de transfert de combustible. À l'heure actuelle, il n'existe, au Canada, aucune installation d'extraction offshore. Des activités d'exploration en mer sont en cours dans la mer de Beaufort, les Îles Arctiques, la mer du Labrador, le Grand Banc, la plate-forme Scotian et le lac Érié. Dans chacune de ces régions, les risques d'éruption existent bel et bien; toutefois la fréquence de ce type d'événement est faible comparativement au nombre de forages qui ont été effectués au large ainsi que près des côtes.

Les accidents maritimes qui mettent en cause des pétroliers ou le déballastage du carburant des navires peuvent être abordés sous l'angle de la densité du trafic. Au tableau 2 sont recensés les 20 ports les plus actifs du Canada. Il est évident que les risques d'accident sont les plus élevés dans les zones où la densité du trafic est la plus forte. Lorsque l'on étudie les possibilités d'un déversement majeur, on doit prendre en considération le volume de pétrole brut ou de produits pétroliers transportés par bateau. Le tableau 3 donne une classification des ports en fonction du tonnage de pétrole transporté.

Les risques peuvent donc être évalués soit en fonction de la densité du trafic, soit en fonction du volume de pétrole transporté par bateau. On observe de très fortes variations régionales au Canada pour ce qui est de la proportion des produits pétroliers par rapport au total du fret transporté (tableau 4). C'est sans contredit sur la côte ouest que le volume du transport maritime est le plus considérable, mais la majorité des produits transportés ne sont pas des produits pétroliers. Par contre, le transport de pétrole brut et des produits raffinés constitue un important secteur de l'industrie maritime dans l'Atlantique. Un troisième élément rélié à la répartition du trafic maritime et intervenant dans l'évaluation des risques d'accidents maritimes concerne les caractéristiques du plan d'eau où se fait la navigation. Les ports de Vancouver et de New Westminster sont les plus actifs au Canada pour le nombre total de navires en transit et leurs eaux côtières adjacentes sont caractérisées par la présence de nombreux passages étroits. Au contraire, les approches du port d'Halifax se trouvent en plein océan et ne présentent aucun danger de navigation (si l'on exclut l'intérieur de la zone portuaire elle-même). Vu la présence de détroits ou de chenaux rendant la navigation difficile, les risques d'accidents sont élevés dans les endroits suivants:

- le détroit Juan de Fuca et le détroit de Géorgie
- Sault-Sainte-Marie
- la rivière St. Clair
- le canal de Welland
- le fleuve et la voie maritime du Saint-Laurent

Des données sur la répartition du trafic maritime dans les Grands lacs sont présentées à la carte 1 et au tableau 5.

TABLEAU 3.
Classification des ports selon la quantité de pétrole brut et de produits pétroliers transportés (1978)

Port	Masse (t)
Saint-Jean	9 416 401
Halifax	5 951 640
Montréal	5 567 058
Port Hawkesbury*	4 420 251
Sarnia	3 517 708
Québec	3 015 122
Vancouver	1 368 230
Sept-Îles	751 618
Thunder Bay	505 238
Sault-Ste-Marie	482 825
Windsor	450 745
Toronto	433 878
Trois Rivières	414 779
Port Alfred	405 064
Hamilton	316 279
Nanaimo	272 742
Sydney	267 176
Victoria	151 405
Campbell River	147 595
Port Colborne	100 830

* La raffinerie de Pointe Tupper étant aujourd'hui fermée, la valeur annuelle en 1981 était probablement inférieure à 900 000 t.

Source: Statistique Canada, 1979.

TABLEAU 4.
Tonnage manutentionné dans les ports canadiens, en décembre 1978

	Atlantique et Arctique	Québec	Ontario	Colombie-Britannique
Fret total (t)*	726 657	10 327 414	7 718 798	5 620 033
Total du pétrole brut et des produits pétroliers raffinés (t)	5 895 333	1 529 393	591 565	265 028

* Tonnage de fret total inclut des produits pétroliers bruts et raffinés.

Source: Statistique Canada, 1979.

La vulnérabilité des côtes peut être définie en fonction de l'impact éventuel d'un déversement sur l'activité biologique et humaine de la région. Elle peut être évaluée en fonction de la distribution des habitats à forte productivité des espèces rares, en péril ou en voie de disparition, ainsi qu'en fonction de la densité de l'activité humaine dans la zone littorale. Les deltas du Fraser et du Mackenzie sont d'excellents exemples de régions où l'impact d'un déversement d'hydrocarbures sur l'écosystème littoral serait très grave. En contrepartie, de nombreux segments côtiers du Labrador ou de Terre-Neuve, constitués avant tout de plages rocheuses et comptant peu de marais ou d'habitats productifs, pourraient être considérés comme des régions peu vulnérables. Dans les endroits où la zone côtière est habitée ou utilisée par l'homme, les déversements risquent d'avoir de plus graves conséquences.

Comme chaque déversement présente des caractéristiques et des effets uniques, la vulnérabilité d'une zone littorale doit être évaluée en fonction d'un certain nombre de paramètres spécifiques. Les segments les plus vulnérables des côtes canadiennes sont surtout les régions où l'activité humaine et le trafic maritime sont intenses.

Répartition volume—fréquence des déversements (selon les quantités en jeu)

Les seules statistiques fiables que nous possédions sur l'emplacement et le volume des déver-

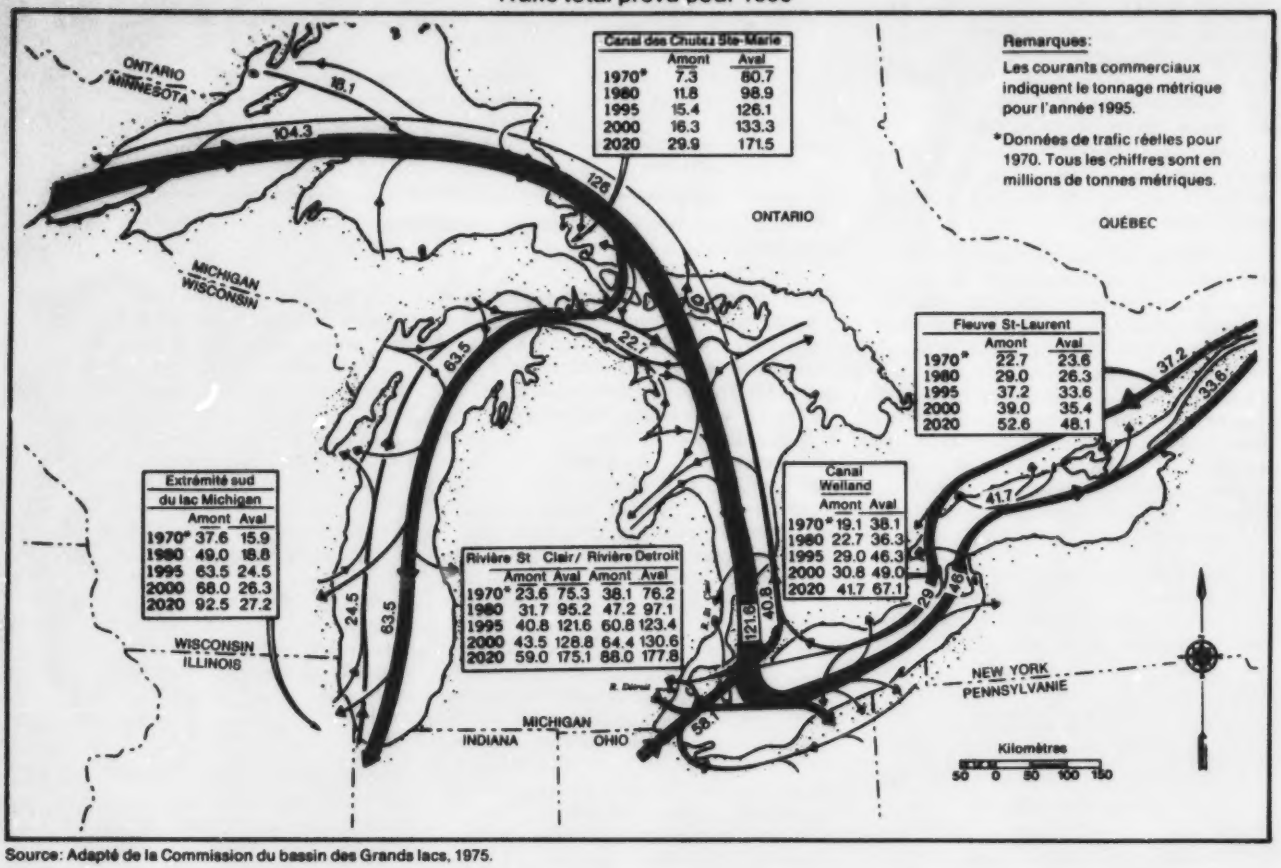
TABLEAU 5.
Trafic total dans les canaux artificiels

Canal	1960	1970 (nombre de navires)	1980
Sault-Ste-Marie	22 151	12 712	19 200
Canal de Welland	7 536	6 768	6 900
Voie maritime du St-Laurent	6 869	5 936	7 100

Source: Commission du Bassin des Grands lacs, 1975.

CARTE 1.

Trafic total prévu pour 1995



Source: Adapté de la Commission du bassin des Grands lacs, 1975.

sements d'hydrocarbures sont tirées de la base de données du système NATES (National Analysis of Trends in Emergencies System), mis au point en 1972. En général, nous ne disposons d'aucune donnée sur les déversements particuliers ayant eu lieu avant le milieu des années 70, et s'il en existe, ces données sont souvent très sommaires. Comme de nombreux petits déversements demeurent non déclarés, toute analyse de la fréquence et de la répartition des déversements est biaisée aux dépens des déversements de moins de 1 tonne. Selon les données qui figurent au tableau 6, établies d'après les 454 déversements marins dont il est fait état dans le système NATES entre 1976 et 1980, le volume de la majorité des déversements, soit 85 % de ces derniers, était inférieur à 50 t d'hydrocarbures. Si tous les petits déversements non déclarés étaient pris en considération, le pourcentage serait probablement plus élevé.

TABLEAU 6.
Déversements marins au Canada recensés dans le système NATES entre 1976 et 1980, et classés selon le volume et la cause

Masse (t)	(i)*	(ii)	(iii)	(iv)	Total
0-5	94	139	108	40	381
5-50	13	9	14	10	46
50-500	7	5	5	6	23
> 500	3	1	--	—	4
Inconnu	—	—	—	—	10
Total	117	154	127	56	464

* (i) pétroliers; (ii) déballastage de vraquiers; (iii) déballastage d'autres embarcations; (iv) terminaux maritimes.

Source: NATES, non publié.

Entre 1970 et 1980, sept gros déversements (500 t ou plus) ont eu lieu dans les eaux canadiennes: quatre d'entre eux ont été causés par des accidents de pétroliers, deux par des accidents d'autres types de navires et le dernier par une fuite dans un parc de stockage (tableau 7). Tous ces déversements ont entraîné un mazoutage massif de la zone littorale, sauf dans le cas du LEE WANG ZIN, alors que les hydrocarbures déversés se sont échoués sur les côtes de l'Alaska. Sur les vingt déversements recensés au tableau 7, huit sont reliés à des accidents de pétroliers, quatre à des fuites dans des installations sur terre, et les autres, soit neuf, ont eu lieu à l'occasion d'accidents maritimes divers. Compte tenu de tous les déversements déclarés (tableau 6), il ressort qu'environ le huitième d'entre eux est relié aux installations sur terre et le quart à des accidents de pétroliers; le reste est attribuable à des accidents ou des transferts de vraquiers.

TABLEAU 7.
Liste partielle des principaux déversements au Canada, 1970–1980

Volume approximatif du déversement (t)	Navire/ Origine	Emplacement	Type de déversement	Année
10 000	ARROW*	Baie Chédabouctou (N.-É.)	bunker C	1970
7 130	KURDISTAN*	Détroit de Cabot (N.-É.)	fuel	1979
1 300	Parc de stockage	Baie Déception (Qué.)	diesel, essence	1970
1 100	NEPCO 140*	Fleuve St-Laurent	fuel	1976
1 100	LEE WANG ZIN	Dixon Entrance (É.-U.)	fuel oil	1979
840	CANSO LIGHT*	Détroit Canso (N.-É.)	fuel	1979
500	WILLIAM CARSON	Île Square (T.-N.)	diesel	1976
400	VANLENE	Détroit Barkley (C.-B.)	bunker B, diesel	1972
387	RICHMOND RED*	Île Dees (C.-B.)	fuel	1977
331	Terminal maritime	Gaspé (Qué.)	fuel	1979
305	Terminal maritime	Chicoutimi (Qué.)	fuel	1980
300	CARITA	Cap-Breton (N.-É.)	bunker	1975
250	OSTROV RUSSKIY	Grand Banc	fuel	1978
240	freighter	Inlet Burrard (C.-B.)	bunker	1973
234	JOHN A. MCDONALD	Mer de Beaufort	fuel	1978
230	IMPERIAL ST. CLAIR*	Détroit de Parry (Ont.)	fuel	1976
200	IRISH STARDUST	Baie Alert (C.-B.)	fuel oil	1973
204	Terminal maritime	Marystown (T.-N.)	fuel	1977
200	SANDINO	Tracy (Qué.)	fuel oil	1978

* Indique un accident de pétrolier.

Source: NATES, non publié et autres sources non répertoriées.

Répartition volume—fréquence des déversements (par région)

L'analyse par région des déversements côtiers recensés dans le système NATES pour la période de cinq ans de 1976 à 1980 fait ressortir la prédominance des accidents tant sur terre qu'au large dans la région de l'Atlantique-Saint-Laurent (tableau 8). Cela n'est pas tellement surprenant, compte tenu des caractéristiques de l'industrie du transport maritime dans cette région. Le pétrole brut et les produits pétroliers y constituent en effet l'une des principales marchandises transportées, la plupart des produits pétroliers utilisés dans l'est canadien étant importés par mer. Au contraire, l'Ontario et la Colombie-Britannique sont approvisionnées par le réseau de transport terrestre. Pour ce qui est des gros déversements (tableau 7), c'est encore la région Atlantique–Saint-Laurent qui détient le record, soit les deux tiers des accidents en mer et sur terre.

Le nombre élevé de déversements signalés dans la région de Québec peut être attribué pour une bonne part à l'efficacité du système de surveillance en matière de lutte contre la pollution dans le fleuve et la voie maritime du Saint-Laurent. Les données pour la région sont sans aucun doute exactes et reflètent probablement mieux le nombre réel de déversements que les relevés effectués dans les autres régions littorales.

Ainsi, bien que les zones à risques élevés identifiées selon la densité du trafic et les restrictions à la navigation semblent à première vue se situer sur la côte ouest et dans les Grands lacs, comme nous l'avons mentionné dans les paragraphes précédents, il ressort des relevés de déversements que c'est dans le Saint-Laurent et sur la côte est que les déversements sont les plus fréquents et les plus gros.

HISTORIQUE

Variations dans les risques de sinistres

L'utilisation croissante du pétrole et des produits pétroliers s'est traduite par une augmentation des risques de déversements côtiers d'hydrocarbures. Avant 1971, seulement 10 puits avaient été forés au large de la côte atlantique canadienne, contre 133 entre 1971 et 1980. Le rythme d'exploration dans cette région ainsi que dans l'Arctique s'est considérablement accéléré au cours des cinq dernières années. De même, le volume du trafic maritime et la taille des navires transportant le pétrole brut ont augmenté. Le débit de la circulation maritime dans le fleuve Saint-Laurent a augmenté de 20 % entre 1970 et 1981 et, d'après les prévisions, devrait doubler d'ici l'an 2020 (Commission du bassin des Grands lacs, 1975). Les risques de déversements d'hydrocarbures ne cessent donc de croître.

L'adoption de règlements ou de mesures de contrôle régissant la circulation maritime peut alléger quelque peu cette menace éventuelle en augmentant la sécurité en mer, mais il est peu probable que cela renverse la tendance générale. Comme les données sur le nombre d'accidents et de déversements ne sont fiables que depuis les cinq ou six dernières années, nous ne possédons aucune mesure quantitative de la fréquence variable des déversements côtiers. La taille des pétroliers océaniques a considérablement augmenté depuis le milieu des années soixante (tableau 9), augmentant d'autant la gravité éventuelle d'un déversement dû à un accident. Le premier déversement marin d'importance (plus de 100 000 t) a été celui du TORREY CANYON en 1967. Depuis ce jour, d'autres déversements plus considérables encore, comme ceux de l'AMOCO CADIZ et de l'IXTOC I, ont eu lieu. Globalement, pour 1979 seulement, 14 accidents en mer se sont traduits par des déversements d'hydrocarbures de plus de 4 500 m³ chacun (*Oil Spill Intelligence Report*, 1980).

L'évolution de la perception de l'impact des déversements

Jusque dans les années soixante, le développement industriel n'était, à toutes fins utiles, sou-

TABLEAU 8.
Répartition géographique des déversements côtiers: 1976–1980

Province	Nombre de déversements	Pourcentage des déversements totaux	Longueur de la côte (%)
Colombie-Britannique	44	9,5	10,1
T.N.-O. et Yukon	29	6,2	64,4
Labrador	5	1,1	6,0
Terre-Neuve	33	7,1	5,3
Nouvelle-Écosse	43	9,3	3,0
Nouveau-Brunswick	34	7,3	0,9
Île-du-Prince-Édouard	5	1,1	0,5
Québec: baie d'Hudson	0	0	3,4
Québec: golfe du St-Laurent	217	46,8	2,0
Ontario: baie d'Hudson	0	0	0,5
Ontario: Grands lacs	38	8,2	3,7
Manitoba	0	0	0,3
É.-U. (fleuve St-Laurent)	6	1,3	0
Autres*	10	2,1	0

* Les hydrocarbures de 10 déversements au large des côtes du Pacifique et de l'Atlantique n'ont jamais atteint le rivage.
Source: NATES, non publié.

mis à aucune réglementation relative à l'environnement. Cette situation a changé depuis que le public a pris conscience des problèmes écologiques. La prise de conscience a suivi les premiers gros déversements d'hydrocarbures par suite de l'accident du TORREY CANYON, en Europe, et de l'éruption de Santa Barbara en Californie, qui tous deux sont survenus dans des régions densément peuplées et ont attiré l'attention des médias. Des projections à la télévision ou au cinéma sur les accidents maritimes révèlent le caractère dramatique des déversements provoqués par des collisions en mer ou des naufrages. Étant donné l'importance accordée par les médias au naufrage de l'AMOCO CADIZ, chaque foyer européen, de même que nord-américain, a pu voir des images saisissantes de l'événement.

Les principales sources d'hydrocarbures dans la zone littorale ne sont pas les déversements, mais le ruissellement, les retombées atmosphériques et l'évacuation des eaux usées sur la côte (tableau 10). Ce sont toutefois les déversements qui sont perçus comme des «désastres» par le public et les groupes d'écologistes et qui, par conséquent, reçoivent le plus d'attention. Cette réaction est en grande partie fondée sur le caractère tragique d'un accident maritime et le spectacle pénible que présentent d'énormes volumes d'hydrocarbures épandus sur la mer ou sur le littoral. Habituellement, l'attention du public est attirée par les répercussions les plus apparentes, par exemple la mort des oiseaux. Tout accident majeur prend alors les proportions d'un désastre écologique irréparable, quelles qu'en soient les répercussions réelles à court ou à long terme. Les naufrages et les tempêtes exercent une fascination brutale, accentuée par la «marée noire» qui envahit la plage.

Malgré cette perception des déversements par le public, le type d'accident le plus fréquent ne met en jeu que de petites quantités d'hydrocarbures. L'adoption de règlements de lutte contre la pollution et la mise au point de ressources techniques et de cours de formation en matière d'intervention par les gouvernements et l'industrie ont, jusqu'à un certain point, incité le secteur industriel à accorder davantage d'attention aux déversements et à leurs impacts. Ces règlements, cours de formation et activités d'intervention ne suscitent guère l'attention du public, mais n'en ont pas moins permis d'améliorer, en l'espace de cinq ans, le potentiel d'intervention et l'arsenal antipollution contre les gros et les petits déversements.

TABLEAU 9.
Augmentation de la taille des pétroliers océaniques

Année	< 50 000	50 000–200 000 (port en lourd en tonnes)	> 200 000
1950	308	1	–
1965	274	386	–
1974	293	142	344

Source: Wardley-Smith, 1976.

TABLEAU 10.
Données sommaires sur les hydrocarbures pétroliers déversés dans les océans

Cause	Quantité (10^6 t)
Suintements naturels	0,6
Production offshore Transport Raffineries côtières	2,413
Atmosphère Cours d'eau/ruissellement urbain Évacuation des eaux usées sur la côte	3,1

Source: National Academy of Sciences, 1975.

LES CONTRAINTES EXERCÉES SUR LES TERRES

Les contraintes exercées sur les terres par suite de la pollution par les hydrocarbures

L'environnement biologique

Les contraintes exercées sur l'environnement biologique dépendent du volume et du type d'hydrocarbures déversés, des conditions océanographiques, de l'époque de l'année et des caractéristiques biophysiques du segment côtier pollué. Il est impossible de définir un niveau de contraintes qui puisse s'appliquer à toutes les situations de déversements. Même dans le cas du TORREY CANYON, où plus de 14 000 t de pétrole altéré et 10 000 t de dispersant toxique ont été répandus sur 150 km de côte dans l'ouest des Cornouailles, une nouvelle colonisation de la zone côtière a commencé dans les semaines qui ont suivi le déversement, et l'aspect général antérieur au déversement a été reconstitué dans la plupart des zones, sur une période de 10 ans. Le rythme de restauration après de semblables catastrophes est lent (Southward et Southward, 1978). Selon les milieux perturbés, le rythme de restauration varie entre moins d'un an et plus de dix ans (Thomas, 1977). La contrainte initiale est souvent de nature très grave, entraînant la mort de nombreux animaux ou autres êtres vivants par étouffement, ingestion ou respiration des consti-

tuants toxiques des hydrocarbures. Dans la zone intertidale, la principale perturbation est généralement causée par l'étouffement des sujets par engluement. Les hydrocarbures qui atteignent la zone littorale sont, dans une certaine mesure, altérés; leurs fractions légères se sont généralement évaporées et les valeurs de toxicité ne sont habituellement pas élevées.

Les contraintes résultant de la pollution par les hydrocarbures sont en général plus fortes dans les zones de productivité biologique maximale, par exemple dans les estuaires et les marais. Ces habitats sont des frayères ou des aires de reproduction dans lesquelles le seuil de tolérance des sujets à divers stades de développement peut être très inférieur au seuil observé dans des milieux plus exposés. Les estuaires et les marais sont des milieux de faible énergie, en ce qui concerne les vagues et les courants, de sorte que la persistance prévisible des hydrocarbures y est supérieure à celle qu'on note sur les côtes exposées. La lente dispersion des hydrocarbures dans ces habitats signifie que les sujets sont soumis aux contraintes résultant du déversement pendant une plus longue période. De nombreuses formes larvaires et juvéniles sont particulièrement vulnérables à la toxicité des hydrocarbures.

Sur les côtes exposées, c'est-à-dire les côtes soumises constamment à l'action des vagues, la densité de population des animaux intertidaux est en général faible sur les rivages de sable ou de galets, mais élevée sur les substrats rocheux. Sur les côtes sédimentaires, la faible densité de population résulte des niveaux élevés de l'énergie mécanique qui redistribue constamment les sables et les galets. Les constituants les plus perturbateurs du pétrole sont sans doute les fractions solubles (National Academy of Sciences, 1975), qui sont surtout présentes dans la zone côtière à la suite de déversements sur terre. Les hydrocarbures déversés en mer s'altèrent et leurs fractions solubles sont dispersées dans les eaux littorales, les eaux océaniques et l'atmosphère.

Un élément clé en ce qui concerne les contraintes biologiques est l'époque du déversement. La présence des constituants toxiques dans la zone et les eaux littorales ou l'action d'étouffement du pétrole échoué peuvent avoir des effets très différents selon que l'accident survient au cours des mois d'hiver, alors que de nombreuses espèces sont à l'état dormant, ou pendant les périodes de développement et de frai du printemps, lorsque les contraintes exercées tant sur l'habitat que sur les sujets peuvent être très fortes. De même, la composition des espèces et la structure de la population peuvent subir des variations marquées au cours de l'année. Une espèce migratrice peut utiliser un marais côtier à de plus basses latitudes pendant seulement quelques jours ou quelques semaines chaque année, et elle peut passer sa période de nidification et élever ses petits dans un marais côtier arctique pendant plusieurs semaines au cours des brefs mois d'été. Un déversement dans des aires de reproduction aura des effets considérables sur la reproduction des espèces. Inversement, si le déversement se produit à l'époque où le marais arctique n'est pas occupé par la sauvagine migratrice, son impact sur l'écosystème local sera atténué et les contraintes seront réduites d'autant.

Les contraintes atteignent un sommet dans des milieux où le déversement d'hydrocarbures se concentre dans une zone relativement restreinte, tels un marais ou un estuaire. Sur le plan de la toxicité, la contrainte maximale résulte des pétroles raffinés comme le fuel n° 2 et en ce qui concerne l'étouffement physique, la contrainte la plus grave est exercée par les pétroles bruts visqueux ou les fuels lourds comme le Bunker C. Le même type d'hydrocarbures peut également avoir des effets très différents selon les espèces touchées. Par exemple, les plantes des marais peuvent survivre, même après avoir été enduites de plusieurs couches d'un pétrole brut frais ou altéré, tandis que les sujets de certaines espèces d'oiseaux ou de certaines espèces de sessiles peuvent être tués par l'imprégnation d'une seule couche. Les déversements entraînent les dommages les plus sérieux chez les animaux, lorsque les hydrocarbures sont ingérés ou pénètrent dans la cavité buccale. Cependant, le mazoutage ne frappe pas nécessairement un animal d'incapacité et la présence de traces visibles de pétrole sur la peau des animaux ne constitue pas toujours une menace sérieuse à leur santé (photo 6).

Photo 6. Phoque partiellement englué de pétrole, à Sable Island (Nouvelle-Écosse).
E.H. Owens

Les oiseaux de rivage les plus vulnérables aux effets des déversements d'hydrocarbures sont les échassiers qui passent le plus clair de leur temps à la surface de l'eau et plongent pour attraper leur nourriture. En général, les macareux, les guillemots, les godes et les canards de mer plongeurs sont les plus vulnérables à l'impact des déversements à la surface des eaux côtières. Dans la zone littorale, les échassiers comme les hérons peuvent subir l'impact du pétrole échoué dans les marais ou les battures intertidales, mais la plupart des oiseaux de rivage ne sont pas touchés par les déversements.

L'activité humaine

Les contraintes exercées sur l'activité humaine dans la zone littorale concernent, dans une grande mesure, les entreprises de subsistance ou commerciales, comme la récolte des coquillages ou les pêcheries commerciales. Les autres effets des déversements d'hydrocarbures sur l'homme sont reliés à la dégradation esthétique du milieu physique et aux désagréments que peuvent causer les résidus de goudron sur les plages. Les boules de goudron ou les couches de pétrole sur les plages peuvent évidemment nuire à l'utilisation récréative de la zone littorale. Les activités commerciales reliées aux loisirs, comme les restaurants ou les établissements d'hébergement, peuvent subir un sérieux contrecoup. Dans certaines régions, la côte elle-même représente une industrie essentielle (par exemple la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard) et un déversement qui surviendrait dans ces lieux au début ou vers le milieu de l'été aurait de graves répercussions sur l'utilisation récréative de la région et les activités commerciales subséquentes.

La pêche côtière et la récolte des coquillages, que ce soit à des fins de subsistance, de loisirs ou pour des intérêts commerciaux, peuvent être sérieusement touchées par la présence de grands volumes de pétrole dans la zone littorale. Outre les effets qu'il peut avoir sur les animaux eux-mêmes, le pétrole peut endommager les filets, les casiers et autres pièces d'équipement. Ceux-ci peuvent, bien sûr, être nettoyés, mais la perte de temps ainsi encourue est un facteur important dans l'évaluation des effets d'un déversement d'hydrocarbures sur les activités humaines.

Dans certains cas, les déversements d'hydrocarbures peuvent présenter un danger pour la santé et la sécurité de l'homme. Les déversements de distillats raffinés peuvent notamment causer des incendies ou des explosions ou les deux, avant l'évaporation des fractions légères des hydrocarbures. Les prises d'eau à des fins d'utilisation commerciale ou industrielle peuvent également être atteintes par des déversements et doivent être éventuellement fermées afin d'éviter tout risque de dommage à l'équipement. Mentionnons, entre autres, les prises d'eau pour les systèmes de refroidissement, les usines de transformation du poisson ou les usines de dessalement.

Le principal impact des déversements d'hydrocarbures sur les activités humaines réside dans la perte de ressources servant à la subsistance ou au commerce. La perte d'une zone de coquillages peut ne pas paraître de prime abord d'une importance capitale pour l'économie d'une région. Toutefois, lorsqu'une ou deux familles dépendent, sur le plan commercial, de cette res-

source, cela peut tourner à la catastrophe. Même si l'habitat et ses animaux redeviennent après quelques années ce qu'ils étaient, leur perte temporaire entraînera une conversion des activités des personnes tributaires de ces ressources.

Déversements accidentels et perturbations naturelles

En général, les espèces de la zone côtière font preuve d'une très grande résistance à toute agression, ce qui s'explique par la rigueur de l'environnement dans lequel elles vivent. L'immersion et l'exposition causées par la variation des niveaux des eaux de marées ainsi que les variations connexes de la salinité et du réchauffement par rayonnement engendrent dans la zone intertidale elle-même des conditions très difficiles. Des modifications quotidiennes et saisonnières considérables des caractéristiques des rivages constitués de sédiments résultent du remaniement et de la redistribution des sédiments sous l'action des vagues. La zone côtière est donc soumise à de fortes contraintes, tant sur le plan écologique que sur le plan physique. Sur une échelle globale et sur de longues périodes, les déversements d'hydrocarbures ne présentent pas de menace permanente pour la qualité de l'environnement. La désertification, la bio-accumulation des métaux et les pluies acides constituent des problèmes beaucoup plus graves et plus étendus que les effets reliés aux déversements d'hydrocarbures.

Les déversements peuvent être considérés comme des phénomènes destructeurs circonscrits, à la suite desquels l'environnement se restaurera avec le temps, même si cette restauration peut prendre plus d'une décennie. Les déversements peuvent causer une forte perturbation de l'écosystème et des activités humaines dans la région. Toutefois, les dommages sont en général bien inférieurs à ceux que provoquent les perturbations naturelles qui peuvent survenir dans n'importe quelle région. Les contraintes mécaniques ou thermiques, par exemple les tsunamis ou les périodes prolongées de chaleur ou de sécheresse, peuvent provoquer des dommages à plus long terme aux écosystèmes. Bien que le terme de «restauration» s'applique d'ordinaire dans un sens assez vague aux cas de déversements d'hydrocarbures, de nombreuses études révèlent que les marais et les estuaires peuvent être restaurés, après un seul déversement, dans un délai de 2 ans ou moins. Plus l'ampleur du déversement croît, ou plus la fréquence des déversements au même endroit augmente, plus la capacité de restauration diminue et plus elle suppose de longues périodes. Cole (1979) a noté que dans le nord-ouest de l'Europe, les effets de l'hiver rigoureux de 1962–1963 dans la mer du Nord et la Manche se sont révélés beaucoup plus graves et plus étendus et qu'ils ont persisté beaucoup plus longtemps que les répercussions de la marée noire du TORREY CANYON.

Il n'existe pas de norme qui soit reconnue ou appliquée internationalement et qui permette d'évaluer les effets des catastrophes soit naturelles, soit anthropiques. Les valeurs politiques et sociales changent avec le temps et avec le lieu, de sorte que l'évaluation des dommages causés n'est jamais objectivement ajustée aux modifications écologiques subies par l'environnement.

Le nettoyage et les contraintes exercées sur les terres

Le milieu biologique

Les effets possibles du nettoyage d'un déversement d'hydrocarbures sur les systèmes biologiques ont été décrits par Foget *et al.*, (1979) comme suit:

- déplacement du biote avec le substrat par suite des effets du nettoyage;
- extension des effets toxiques en raison de la pollution provoquée par le nettoyage;
- perturbation de l'habitat par l'équipement, les procédés de nettoyage ou le personnel;
- animaux blessés par le nettoyage manuel ou par des engins lourds;
- tort fait aux animaux par le bruit ou par des opérations requérant l'utilisation de matériel lourd ou la présence d'un grand nombre de personnes.

Le niveau de contraintes imposées à un système biologique par le nettoyage dépend de la densité initiale de la population, des types d'espèces présents, de la superficie totale touchée par les opérations de nettoyage et de la saison.

Certaines techniques de nettoyage, comme la dispersion hydraulique à forte pression, le nettoyage à la vapeur ou au jet de sable peuvent emporter toutes les espèces existantes fixées à la roche en place ou aux substrats durs. L'enlèvement des sédiments dans les marais ou dans d'autres secteurs du rivage couverts de végétation peut également provoquer une grave perturbation de l'habitat et l'élimination physique de ces espèces. Il est évident que l'utilisation d'engins lourds dans les marais aura un effet dommageable, à savoir l'écrasement des animaux et la perturbation de l'habitat lui-même. Dans de nombreux cas, ces opérations de nettoyage peuvent causer plus de dégâts que le

TABLEAU 11.
Les techniques de nettoyage des marais

Techniques de nettoyage	Conditions d'application	Impact sur l'environnement
Dispersion hydraulique à faible pression	À utiliser de préférence dans les petits chenaux; autour des massifs de plantes et des bosquets d'arbres; sur la végétation le long des berges de canaux et des rivages.	Impact minime; un certain écrasement des plantes de marais si la dispersion est effectuée à partir de la terre ferme.
Absorbants: en vrac, tampons ou rouleaux	Absorbants en vrac: à utiliser dans les petits chenaux ou les étangs comportant de faibles courants. Tampons ou rouleaux: à utiliser dans des étangs peu profonds et sur des rivages sans accumulation de débris.	Les absorbants en vrac sont difficiles à récupérer et peuvent écraser les plantes de marais.
Écrémeurs à bande transporteuse oléophile	À utiliser de préférence dans les chenaux ouverts ou les étangs présentant des nappes d'hydrocarbures dérivantes; en amont des barrages de retenue et le long des rivages de marais.	Impact minime.
Coupe et enlèvement de la végétation (n'utiliser que si la dispersion hydraulique est inefficace pour l'élimination du pétrole sur les plantes).	Coupe manuelle: s'applique à la végétation des petits chenaux. Coupe mécanique: le long des berges de chenaux ou des rivages.	Dommages à la surface des marais. Dommages aux plantes causés par les piétons.
Combustion*	À utiliser dans de grandes zones polluées. Probablement appropriée lorsque le marais se trouve à un stade de dépérissement terminal.	Pollution de l'air considérable causée par la fumée. Peut brûler des zones non polluées.
Enlèvement du sol et de la végétation	À utiliser lorsque les hydrocarbures toxiques et persistants ont profondément pollué le substrat.	Impact grave: destruction de zones de marais. Nécessite une restauration ultérieure complète.

* À utiliser uniquement sur les marais occupés par des spartines (graminiformes) (d'après Maiero *et al.*, 1979)

pétrole lui-même, si les techniques appropriées ne sont pas appliquées correctement, ou si les techniques sont impropres à un endroit ou un type de rivage. Dans les milieux de marais, certains moyens spéciaux peuvent se révéler efficaces dans l'enlèvement du polluant sans causer de perturbation grave à l'habitat ou à l'écosystème (tableau 11) (Maiero *et al.*, 1978; Cejka, 1975; Vandermeulen and Ross, 1977).

Le déploiement de l'équipement et du personnel dans les dunes doit être soigneusement contrôlé sur les côtes où les dunes de l'arrière-plage ont été stabilisées par la végétation. La destruction du système racinaire du tapis végétal des dunes peut entraîner la déstabilisation de tout le complexe dunaire par la formation de creux de déflation résultant du transport des sédiments sableux par le vent. En présence de tels phénomènes, l'accès à la zone littorale devrait être rigoureusement contrôlé afin de minimiser les dommages éventuels et des tapis ou des planches devraient être utilisés dans la mesure du possible afin d'éviter la destruction des systèmes racinaires de la végétation de surface.

L'emploi d'agents chimiques pour disperser les hydrocarbures dans la zone littorale est généralement interdit, car les dispersants, appliqués habituellement à des dosages relativement élevés pour pouvoir être efficaces, se sont souvent révélés plus toxiques que le pétrole déversé. Une concentration de ces agents chimiques dans de petites zones est généralement à l'origine de contraintes considérables de changements au sein de l'habitat et chez les animaux. Cette technique employée à la fin des années 1960 et au début des années 1970 est rarement utilisée de nos jours dans le cas des déversements côtiers d'hydrocarbures.

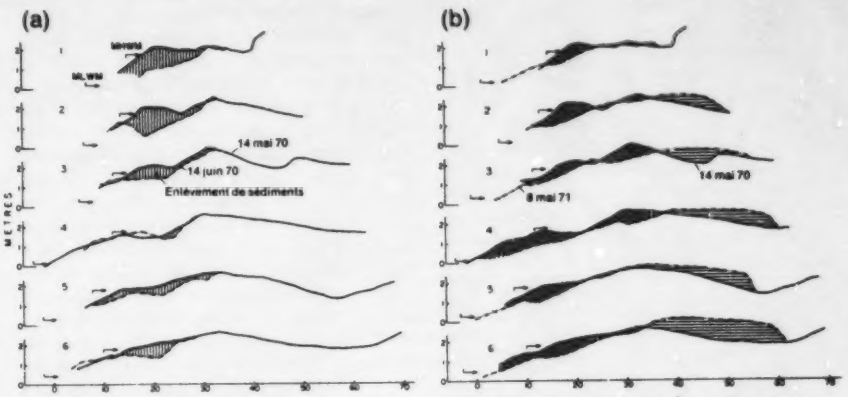
Les effets des opérations de nettoyage devraient être négligeables pour l'environnement naturel si des moyens adéquats sont pris (par ex. Maiero *et al.*, 1978; Foget *et al.*, 1979); dans l'ensemble, ils représenteront peu par rapport aux effets du déversement lui-même. Il ne doit y avoir aucune modification majeure des caractéristiques de l'habitat par suite des mesures d'intervention. Les changements de l'habitat dans les marais ou les dunes par suite du déplacement de l'équipement ou du personnel peuvent causer la destruction de la végétation et des transformations irréversibles du milieu biophysique.

Le milieu géologique

Les opérations de nettoyage qui comportent l'enlèvement de sédiments pollués et d'hydrocarbures peuvent causer des dommages si l'on extrait de grandes quantités de matière dans de petits secteurs de plage. L'enlèvement de sédiments sur une grande échelle provoque souvent un mouvement ou un recul de la plage, à moins qu'il ne se produise un réapprovisionnement naturel des sédiments pour réalimenter les secteurs privés de matière par les opérations de nettoyage. Owens et Drapeau (1973) ont étudié le recul d'une plage sur 20 mètres pendant les 12 mois qui ont suivi l'élimination sur une grande échelle des sédiments pollués par les hydrocarbures dans la baie Chédabouctou en 1970 (figure 1).

FIGURE 1.

Série de profils transversaux de la plage d'Indian Cove, dans la baie Chédabouctou (Nouvelle-Écosse)



La première série des deux profils dans a) représente la plage avant (14 mai 1970) et immédiatement après (14 juin 1970) l'enlèvement des sédiments au cours d'un programme de nettoyage. Une étude ultérieure b) effectuée un an après (8 mai 1971) illustre le recul de la crête de la plage. Les ombres horizontales indiquent des zones de gain net de sédiments, tandis que les hachures croisées montrent une perte nette de sédiments.

MHWM Niveau moyen de haute mer
MLWM Niveau moyen de basse mer

Source: Owens et Rashid, 1976.

L'érosion de la plage est surtout considérable dans les zones qui s'adossent à des falaises instables ou non consolidées. Sur ce type de rivage, la plage joue le rôle d'un tampon naturel contre l'action des vagues, et l'enlèvement des sédiments qui constituent ce tampon expose la base de la falaise à l'érosion. En conséquence, il peut se produire une érosion accélérée de la falaise jusqu'à ce qu'une quantité suffisante de matière ait été délogée de la falaise pour renouveler la zone protectrice des sédiments de plage.

L'activité humaine

Il est rare que les mesures d'intervention soient préjudiciables à l'activité humaine. Les opérations de nettoyage nécessitent la mobilisation de personnel et d'équipement, la location d'installations et autres dépenses ainsi qu'un surcroît d'activité dans la zone touchée. Le seul effet préjudiciable du nettoyage pourrait être l'abandon ou la suspension provisoire d'autres activités. Dans le cas d'un grand déversement côtier dans un port, le trafic peut être progressivement réduit ou détourné afin d'assurer la poursuite des opérations de nettoyage. L'utilisation de barrages dans les rivières, les ports ou les estuaires est généralement évitée si celle-ci implique la fermeture de toute l'entrée, ce qui empêche l'utilisation normale du chenal.

À la suite du déversement du NEPCO 140 dans le Saint-Laurent, les retards causés à la navigation ont été évalués à un coût de 171 500 $ (dollars américains) (Palm *et al.*, 1979). Quarante-deux navires ont été retardés pour une durée totale de 393 heures.

Les effets des déversements côtiers d'hydrocarbures sur l'activité humaine sont perçus d'ordinaire par le public comme ayant une portée plus grave que celle des retards réels ou des dommages qui sont causés. Les inconvénients et la perte d'activités de loisirs sont généralement les conséquences les plus graves d'un déversement, et non pas la perte réelle de revenu ou la suspension d'entreprises commerciales. À la suite du déversement du NEPCO 140, survenu au milieu de l'été dans une zone populaire de villégiature, on a évalué à 37 400 le nombre de jours de loisirs perdus pour les résidants saisonniers et permanents, soit une moyenne de 5,5 jours par personne pour la population échantillonnée.

Les installations locales et de soutien logistique peuvent être utilisées au-delà de leur capacité normale pendant les opérations de nettoyage, mais cela n'aura vraisemblablement aucun effet sérieux sur l'activité humaine.

ÉTUDES DE CAS

Effets préjudiciables des déversements

Effets physiques

L'effet physique des déversements d'hydrocarbures sur les terres réside essentiellement dans l'imprégnation de la matière superficielle et de la végétation. Dans la plupart des cas, cette pollution se limite à la zone intertidale supérieure. Si un déversement se produit dans les périodes de marées de tempête, ou lorsque le niveau des eaux se trouve au-dessus de la normale, le pétrole peut alors s'échouer sur les parties supérieures de la zone littorale, et parfois sur les milieux adjacents de l'arrière-plage. L'aire polluée est généralement restreinte à la bordure des terres adjacentes à la ligne des eaux (photo 7). L'aspect réel de la zone littorale touchée par le déversement change d'un site à l'autre car les types de rivages varient à l'échelle régionale et locale, selon la géologie, l'apport de sédiments et l'action des vagues. Dans la baie Chédabouctou, qui a subi les effets de la marée noire de l'ARROW en 1970, 30 % de la zone littorale étaient composés de plages de sable ou de cailloux et de galets, sur des côtes exposées, 25 % étaient constitués de rivages à faible énergie et à sédiments mal triés, tandis que 25 % étaient composés de côtes de roche en place ou de blocs erratiques.

Photo 7. Le pétrole (indiqué par les flèches) est piégé dans un ruisseau et contre la bordure d'un marais, à marée haute, à Miguasha, dans la baie des Chaleurs, en octobre 1974, à la suite du déversement du GOLDEN ROBIN. Le déversement s'est produit à une période de niveau normal des eaux (voir photo 3).
E.H. Owens

Le seul effet notable des hydrocarbures sur le milieu physique se produit sur les plages de gravier (sable; cailloux; galets). Dans ces endroits, les hydrocarbures lourds altérés peuvent former un revêtement d'asphalte (photo 8). Cette couche d'hydrocarbures et de sédiments se forme en général dans les milieux à faible action des vagues, où l'énergie mécanique est insuffisante pour briser le pétrole. Ce revêtement d'asphalte devient d'ordinaire un élément durable et continu dans lequel tous les sédiments de surface sont immobilisés par la présence du pétrole. Le seul effet qu'il exerce sur les processus de la zone littorale est que par suite de son imperméabilité les vagues peuvent déferler sur une plus longue distance sur la plage. Habituellement, au cours du jet de rive, une certaine partie des vagues s'infiltre dans les sédiments de plage, ce qui ralentit ainsi le mouvement du jet de rive. Avec la perte de cette imprégnation, le mouvement du jet de rive vers la terre est renforcé. Toutefois, cela est rarement important en ce qui concerne les processus littoraux dans leur ensemble. On peut prévoir que les revêtements d'asphalte, étant donné leur formation dans des milieux à faible énergie, persisteront pendant plusieurs années, parfois plus d'une décennie.

Le déversement de pétrole de l'ARROW dans la baie Chédabouctou a pollué environ 200 km de littoral (cartes 2 et 3). Un tiers seulement de cette zone était encore pollué 3 mois après le déversement, ce résultat étant dû essentiellement au nettoyage par l'action des vagues. Trois ans plus tard, en 1973, le pétrole échoué était réduit à une répartition morcelée limitée aux lagunes et aux estuaires à faible énergie (Owens et Rashid, 1976). Dès 1976, 6 ans après le déversement, une étude du littoral n'a révélé que des traces de pétrole échoué dans les endroits à faible énergie (Vandermeulen, 1977).

Photo 8 Traces d'érosion, le long du bord d'un revêtement d'hydrocarbures, rive sud, détroit de Magellan, en janvier 1977, dans un milieu abrité composé d'une plage mixte de sable et de cailloux, 2,5 ans après le déversement.
E.H. Owens

CARTE 2.

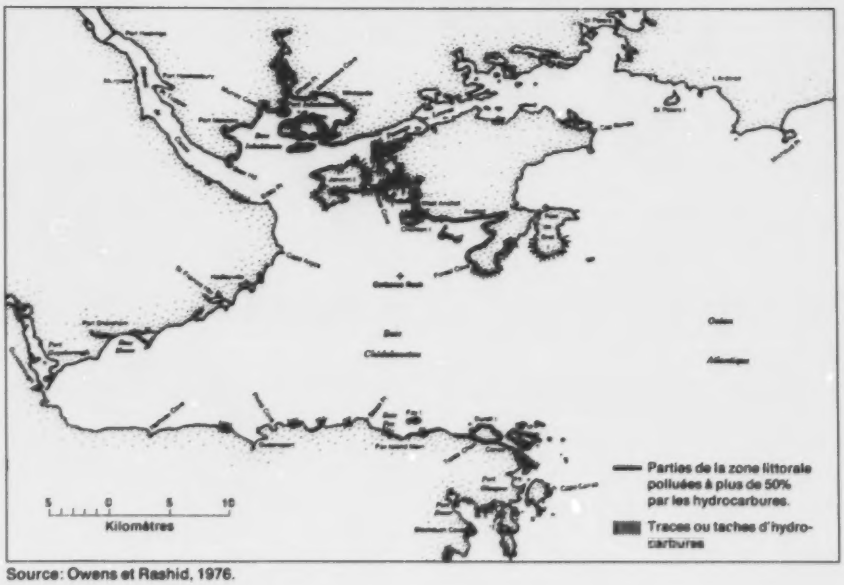
Répartition des résidus d'hydrocarbures dans la zone littorale, au printemps de 1970, à la suite du déversement de l'ARROW, en Nouvelle-Écosse

Cette carte donne une compilation de tous les lieux où le pétrole a été observé entre mars et juin 1970, et indique l'étendue maximale de la répartition du pétrole dans la zone littorale.

Source: Owens et Rashid, 1976.

CARTE 3.

Résidus d'hydrocarbures dans la zone littorale, octobre 1973, d'après des observations aériennes



Source: Owens et Rashid, 1976.

En ce qui concerne l'auto-épuration réelle, Vandermeulen estime que 75 % des rivages très pollués ont été nettoyés par des processus naturels en 3 ans, et que seulement 5 % sont restés visiblement pollués après 7 ans, en 1977. La demi-vie estimée du Bunker C échoué en cet endroit était de 1,5 à 2 ans, bien que la demi-vie prévue du pétrole persistant au-delà de cette période soit probablement de l'ordre de 10 à 20 ans.

Utilisation des terres

Les premières répercussions des déversements dans la zone côtière touchent l'utilisation récréative du littoral. L'exploitation des populations intertidales par l'homme est généralement limitée aux crustacés. Les effets secondaires sur l'écosystème côtier sont cependant plus graves, dans la mesure où ils perturbent son utilisation comme habitat pour des aires de fraie ou de reproduction d'espèces exploitées à des fins commerciales ou récréatives. L'utilisation récréative éventuelle de la zone littorale—baignade, excursions à pied, pêche, chasse et navigation de plaisance—ne comporte pas d'activités primordiales pour l'économie locale, sauf exception (un déversement dans un endroit côtier qui dépend des loisirs et du tourisme comme l'Île-du-Prince-Édouard, par exemple, représenterait une véritable catastrophe).

Le déversement du NEPCO 140 s'est produit au début de l'été, dans un secteur de la Voie maritime du Saint-Laurent qui est à la fois une zone à forte densité de population et une zone récréative de première importance pour l'Ontario et l'État de New York. En raison de courants rapides, le déversement n'a pu être maîtrisé et en conséquence de vastes segments du rivage ont été touchés par la marée noire. Une grande partie de la zone littorale est constituée de marais, milieu productif pour les poissons et la sauvagine.

Des études détaillées de l'impact du déversement du NEPCO 140 (Palm *et al.*, 1979) ont établi que les populations de poissons ou de sauvagines n'avaient pas subi de dommage grave. Dans certains cas, on a observé une augmentation sensible de la population. Un effet marqué de ce déversement a cependant été la réduction des activités récréatives. L'étude de l'évaluation de l'impact (Palm *et al.*, 1979) révèle que les résidants permanents ont perdu une moyenne de 8 jours de loisirs par personne et que les résidants saisonniers ont perdu une moyenne de 4,4 jours. Un grand nombre de personnes ne se sont pas rendues à leur résidence saisonnière à cause du déversement et le nombre de visiteurs dans la région a également diminué. Parmi les autres conséquences négatives, notons: la présence d'odeurs désagréables; l'impossibilité de se déplacer à partir du continent (à cause des opérations de nettoyage); les effets du déversement sur l'approvisionnement en eau; enfin, les enfants pataugeant dans les flaques de pétrole. Certaines activités commerciales, comme les excursions guidées en bateau, les circuits touristiques en bateau et les marinas n'ont connu aucun changement ou ont enregistré une augmentation d'activité. Les ventes d'essence, d'huile et autres fournitures pour les marinas ont diminué au cours du déversement, mais cela a pu être autant une conséquence de l'été frais et pluvieux que du déversement. Une réduction de l'occupation des hôtels et motels de l'ordre de 10 % peut être attribuée soit au déversement, soit au mauvais temps. Dans certains cas, la fréquentation des hôtels ou des motels n'a pas été considérablement modifiée au cours de l'année du déversement. Les annulations et la diminution de la fréquentation dans certaines régions ont été compensées par la présence du personnel des opérations de nettoyage.

Un grand nombre de municipalités des rives du Saint-Laurent utilisent le fleuve comme source d'approvisionnement en eau. À la suite du déversement du NEPCO 140, il n'a pas été nécessaire de modifier le mode de fonctionnement des systèmes d'alimentation, bien que le déversement ait donné lieu à certaines discussions sur l'utilité d'employer d'autres sources d'approvisionnement. Certains retards de navigation dans la voie maritime du Saint-Laurent ont été causés par le déversement, 42 navires ayant été retardés pour un total de 393 heures. La région est dotée d'un grand nombre de parcs privés, fédéraux et provinciaux, dont certains ont enregistré une augmentation de fréquentation, tandis que quelques-uns ont noté une diminution. Les emplois locaux ont souffert, dans une certaine mesure, des répercussions du déversement. Dans le secteur des hôtels et des motels, une diminution des emplois de l'ordre de 70 semaines de travail a été attribuée au déversement, mais celle-ci a été compensée par l'embauche de plus de 800 personnes pour les opérations de nettoyage.

On voit que les effets de ce déversement massif ont été très variés, certains même ayant été positifs. Bref, malgré que le déversement se soit produit dans une région à forte densité de population et à vocation récréative, il n'y eut aucune modification substantielle des activités économiques, à court ou à long terme.

L'arrêt des activités industrielles, comme cela a été le cas pour les centrales d'énergie et les usines de dessalement conséquemment à l'éruption du HASBAH 6 dans le golfe d'Arabie, n'a guère d'incidence sur la santé et la sécurité du Canadien. Il existe certes des prises d'eau destinées aux entreprises industrielles ou commerciales, mais elles sont situées en des points isolés où il serait possible d'assurer une protection efficace par l'utilisation de barrages afin d'empêcher l'arrêt des activités.

Valeur des terrains: transformations visuelles et esthétiques: effets permanents

Les exemples des déversements de l'ARROW et du NEPCO 140, le premier ayant été étudié sur les plans de la persistance et de la répartition du pétrole échoué, et le deuxième sur le plan de l'impact économique sur la zone littorale, indiquent que les contraintes reliées aux déversements côtiers d'hydrocarbures sont généralement limitées dans le temps et que les effets ne sont ni permanents ni graves pour les activités humaines.

La productivité écologique d'une région peut être modifiée par la présence d'hydrocarbures échoués dans la zone côtière. Dans certains cas, la productivité peut augmenter, par exemple sous forme d'apport de substances nutritives à la zone littorale. Dans d'autres cas, les espèces peuvent être détruites et les périodes de restauration peuvent durer des années ou parfois des décennies. Les impacts sur l'aspect et sur la beauté des lieux sont spectaculaires sur le coup. Toutefois, sauf dans les milieux très abrités à faible énergie des vagues, les zones littorales s'autonettoient sous l'action des vagues dans l'année ou, tout au plus, dans les 3 à 4 années suivant le déversement.

On ne connaît aucun déversement accidentel d'hydrocarbures qui ait provoqué des dommages irréversibles à la zone littorale. Dans quelques cas, les opérations de nettoyage ont entraîné l'érosion de la plage ou la transformation de l'habitat sur des secteurs côtiers de moins de 1 km de longueur. Ces exemples mineurs ne sont pas jugés graves sur le plan de l'utilisation régionale des terres ou de la stabilité de la zone littorale. En résumé, les effets des déversements d'hydrocarbures sont généralement à court terme et ne peuvent être sérieux que pour des périodes limitées. Il n'y a pas de répercussions à long terme ni permanentes, de sorte qu'il ne se produit aucun changement irréversible dans les caractéristiques de la zone littorale, du milieu biophysique ou des activités humaines.

Mesures d'intervention destinées à réduire les contraintes

Les mesures destinées à maîtriser le pétrole libéré par l'ARROW en 1970 comprenaient l'emploi de divers barrages pour endiguer le pétrole et de divers systèmes de récupération pour l'enlever de la surface de l'eau. Des barrages de modèle commercialisé et des barrages improvisés ont été utilisés pour protéger les estuaires et les marais. En outre, une route sur digue a été construite dans un emplacement particulier pour empêcher les hydrocarbures de pénétrer dans les chenaux d'un grand archipel. L'efficacité des barrages est encore limitée aux états de la mer de force 3 environ (le code international pour l'état de la mer donne les valeurs comprises entre 0 et 9, 0 correspondant à une mer calme sans rides) même après 10 ans de recherche intensive dans le domaine de l'endiguement des hydrocarbures en mer. Une route sur digue assure une barrière solide et étanche qui est utile dans certaines circonstances; c'est par exemple le cas entre l'île Madame et l'île du Cap Breton où elle a protégé une vaste zone pour laquelle l'impact aurait été très grave. Les îles et les chenaux abrités de l'archipel constituent un milieu à faible énergie de vagues où, selon les prévisions, la persistance des hydrocarbures aurait été considérable (photo 2); ils comportent de nombreuses aires de frai et de reproduction pour les poissons de même que des habitats de sauvagines. La construction de la route sur digue a sans aucun doute réduit de beaucoup l'impact écologique qu'aurait provoqué la marée noire.

L'endiguement des hydrocarbures sur les eaux adjacentes, ou l'utilisation de barrages ou de barrières de retenue, est un élément clé dans l'atténuation des dommages causés par les déversements d'hydrocarbures. Ces techniques s'appliquent généralement à tous les genres de déversements, bien que leur mode précis de déploiement varie selon les facteurs écologiques propres à chaque lieu.

Effets préjudiciables des mesures d'intervention

Il existe peu de cas connus où les opérations de nettoyage ou de protection ont causé des dommages à la zone littorale. Il y eut l'enlèvement des sédiments à la suite du déversement de l'ARROW, en un point de la baie Chédabouctou (Owens et Drapeau, 1973), où l'érosion de la zone littorale a été l'objet d'une étude approfondie au cours d'une période de 3 ans. Dans ce cas, aucune mesure n'a été prise pour réparer les dommages causés par les mesures de nettoyage. Au cours du déversement de l'ARROW, une opération de nettoyage a été tentée sur une plage, au pied d'une falaise instable, non consolidée, près d'Arichat, sur l'île Madame (photo 9). Les conséquences de cette tentative se seraient traduites par une déstabilisation de la falaise de l'arrière-plage, d'où une perte de terres et éventuellement d'habitations due à l'érosion accélérée de la plage de base qui jouait le rôle de tampon contre l'érosion des vagues. Le risque d'effets préjudiciables a été évité en empilant des sédiments et des blocs à la base de la falaise pour la protéger contre les vagues.

Lorsque l'on enlève des sédiments d'une plage et lorsqu'il y a risque d'érosion de la plage ou de la falaise de l'arrière-plage, une technique courante consiste à remplacer le volume de matière qui a été enlevée par un volume égal de matière de type similaire.

Photo 9. Falaise de matière non consolidée, à Arichat, (Nouvelle-Écosse). L'enlèvement initial d'hydrocarbures et de sédiments dans la zone intertidale par un bouteur a détruit la plage protectrice et a découpé une entaille (flèche) à la base de la falaise. Ce phénomène aurait pu provoquer facilement l'érosion de la falaise sous l'action des vagues, puis des dommages aux propriétés, si aucune mesure corrective n'avait été appliquée.
E.H. Owens

Bien qu'il existe de nombreux cas de restauration après les opérations de nettoyage dans d'autres pays du monde, l'on ne peut citer aucun exemple connu sur les côtes canadiennes, qui ait fait l'objet d'études.

Travaux de recherche

Projet PDHMMA

Le projet PDHMMA (programme sur les déversements d'hydrocarbures en milieu marin arctique) a été créé par le Service de la protection de l'Environnement en 1977, en vue de favoriser la recherche et l'avancement technique relatifs aux déversements en milieu arctique (Ross, 1981). Ce projet a englobé un large éventail d'études, à savoir:

- des atlas écologiques
- des scénarios de déversements et d'éruptions
- des études sur le déplacement des glaces
- la mise au point et l'essai d'équipement (barrages, écrémeurs, incinérateurs)
- des essais de combustion et de dispersants
- des applications de télédétection
- l'élimination par épandage dans des régions de pergélisol

Le PDHMMA a entrepris en 1981 la coordination de travaux de recherche de grande envergure sur les effets de déversements contrôlés d'hydrocarbures sur les milieux marins et côtiers. En particulier, une série d'expériences a été effectuée en 1981 au cap Hatt, au nord de l'Île de Baffin, afin d'étudier et de surveiller les

effets des hydrocarbures déversés et dispersés dans les baies et les rivages côtiers, ainsi que l'efficacité et l'utilité des mesures d'intervention appropriées aux milieux côtiers de l'Arctique. Ces expériences sur une grande échelle constituent l'une des premières tentatives concernant l'analyse expérimentale des impacts des déversements et des mesures d'intervention dans les milieux arctiques. Ce type de recherche est essentiel à la compréhension des contraintes exercées sur la zone côtière. Lorsqu'un déversement se produit, il est rare qu'on dispose au préalable d'une information pouvant être utilisée pour comparer les conditions environnementales et biologiques antérieures et postérieures au déversement. Seules des expériences sous contrôle permettent d'obtenir l'information nécessaire pour faire des comparaisons exactes. L'expérience de l'île de Baffin a porté sur trois situations: une baie non polluée, une baie soumise au seul impact des hydrocarbures et une baie polluée par les hydrocarbures soumis à l'action d'un dispersant chimique. Les résultats de cette expérience serviront à élaborer des données sur le devenir et la persistance des hydrocarbures déversés ainsi que sur les effets des hydrocarbures et des hydrocarbures dispersés sur le milieu biophysique côtier.

Recherche et développement relatifs aux effets des déversements d'hydrocarbures

La surveillance permanente des déversements, tels que ceux de l'ARROW, du KURDISTAN et du NEPCO 140, assurée par divers chercheurs, représente un élément important d'une connaissance à long terme des effets des déversements sur les habitats et les activités humaines. Les déversements expérimentaux ou les expériences en laboratoire représentent un élément-clé dans l'enrichissement des connaissances et la compréhension des effets des hydrocarbures sur les écosystèmes côtiers. Actuellement, la question de savoir si les déversements d'hydrocarbures exercent ou non des effets dommageables à long terme sur l'environnement suscite une grande polémique. Les observations et les expériences concernant la flore et la faune sur une macro-échelle révèlent que les déversements d'hydrocarbures ne constituent pas une menace sérieuse à long terme, pour les milieux marins côtiers et littoraux. Toutefois, on sait peu de choses sur les effets sub-létaux et sur les effets à long terme que les hydrocarbures et leurs résidus peuvent avoir sur les micro-éléments des écosystèmes.

Les hydrocarbures, même à de très faibles teneurs, peuvent exercer des effets préjudiciables aux populations et par la suite aux écosystèmes côtiers sans entraîner directement de cas de mortalité. Ces effets sub-létaux sur les espèces peuvent provoquer des augmentations de population d'autres espèces. Ce type de transformation dans l'équilibre écologique naturel est lent et exige une surveillance expérimentale à long terme. La recherche écologique et biochimique dans ces domaines s'effectue tant dans le secteur privé que dans le secteur public.

Toute la question de l'évaluation des impacts n'est pas facile à étudier. Habituellement, il est difficile et coûteux d'acquérir suffisamment de données de base, même pour un petit segment de rivage. En outre, les perturbations naturelles dont souffre une communauté donnée sont souvent plus considérables que celles qui pourraient être causées par un déversement d'hydrocarbures. Par conséquent, il est très difficile d'évaluer les contraintes ou les dommages pouvant résulter d'un déversement, compte tenu des perturbations naturelles. L'amélioration des connaissances et de la compréhension des effets des déversements d'hydrocarbures dépend également des études de recherche et de développement entreprises sur les écosystèmes et les réseaux des chaînes alimentaires eux-mêmes. Sans une connaissance des processus exacts en jeu dans la chaîne alimentaire, il est difficile de déterminer les modifications naturelles ou anthropiques apportées à ce système.

Recherche et développement et mesures d'intervention contre les déversements d'hydrocarbures

Les principales techniques de nettoyage des rivages n'ont guère changé depuis le début des années 1970. Le matériel et les méthodes recommandés pour les mesures d'intervention sur les rivages (Foget *et al.*, 1979) ont fait l'objet de nombreuses études, et pour l'instant aucune innovation n'est en vue. Cela est dû en partie au fait que l'efficacité des mesures d'intervention est fonction de la capacité de mobiliser l'équipement existant. Le matériel lourd de terrassement, les camions, les rateaux, les pelles et les fourches sont essentiels pour le nettoyage des rivages de la plupart des côtes (photo 10). Pour le moment, la recherche et le développement seront avant tout axés sur le perfectionnement des systèmes de retenue et d'enlèvement des hydrocarbures à la surface des eaux adjacentes. L'efficacité et l'utilité des barrages dans des forts courants ou dans des hautes vagues, ainsi que le rendement des divers écrémeurs font l'objet d'un programme permanent de recherche et de développement, tant au Canada que dans d'autres régions du monde.

Photo 10. Tracto-chargeur sur roues procédant à l'enlèvement d'une large (5 m) couche épaisse (10 à 20 cm) d'hydrocarbures déposés à la laisse de haute mer, sur une plage de cailloux et de galets dans le sud de la baie Chédabouctou, en avril 1970.
E.H. Owens

Les possibilités actuelles d'atténuer l'impact des déversements d'hydrocarbures sur les rivages sont relativement bonnes. Les seules limites ont trait à la disponibilité de l'équipement et du personnel, ainsi qu'aux conditions d'accès et à la logistique liée à l'organisation d'une opération de nettoyage. Les méthodes de protection des rivages pourraient être améliorées par la mise au point de barrages et d'écrémeurs plus polyvalents et pouvant fonctionner sur les eaux côtières adjacentes. En outre, l'utilisation de dispersants à la surface de la mer au large de la côte, soit au moyen d'aéronefs, soit au moyen de navires de surface, fait l'objet d'études. Les moyens d'intervention en haute mer sont limités par les conditions physiques plutôt que par l'état actuel de la technique. Le rejaillissement des vagues par dessus les barrages ou le mouvement de l'eau au-dessous d'un barrage limitent l'efficacité de l'équipement destiné à endiguer les hydrocarbures dans des conditions rigoureuses. On peut construire de plus gros barrages, mais ces derniers sont plus difficiles à manipuler et à stocker.

Études sur les dangers des déversements (avant la catastrophe) et évaluations des effets (après la catastrophe)

Ce n'est qu'au cours des dernières années que l'on a tenté d'établir sérieusement une corrélation précise entre les caractéristiques du milieu et les effets possibles des déversements d'hydrocarbures. Pendant de nombreuses années, on a supposé à tort que tous les habitats présentaient la même vulnérabilité. Pourtant, tous les marais n'ont pas la même fragilité devant un déversement d'hydrocarbures et, en outre, la gravité du péril peut changer avec le temps. Certains marais, par exemple, constituent d'importantes zones de halte pour la sauvagine migratrice, tandis que les marais contigus peuvent ne pas être fréquentés par cette espèce. De même, les marais présentent différentes caractéristiques de population selon les époques de l'année, de sorte que l'impact éventuel sur les espèces

migratrices sera limité uniquement à quelques semaines pendant la saison de migration.

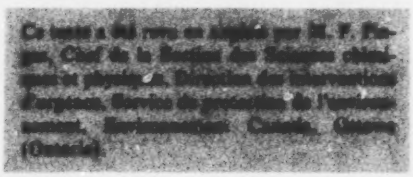
L'élaboration d'évaluations des dommages éventuels présentant un intérêt pratique dépend de l'établissement d'une base de données qui englobent une information pertinente sur la répartition des espèces, la vulnérabilité de ces dernières aux hydrocarbures, la période de danger possible, l'efficacité éventuelle des opérations d'intervention destinées à protéger la région et l'impact des transformations biophysiques et environnementales sur les activités humaines (Owens et Robilliard, 1981*b*). Bien qu'un endroit puisse avoir une population d'oiseaux très dense, certaines espèces, comme les mouettes, peuvent n'être que rarement touchées par les déversements d'hydrocarbures. D'autres espèces, la sauvagine et les canards de mer, peuvent présenter une densité de population plus faible mais être plus vulnérables aux effets nocifs des hydrocarbures. Certaines espèces peuvent être très vulnérables toute l'année ou seulement pendant certaines périodes.

Outre la connaissance des périls auxquels se trouve exposée une zone côtière, il est nécessaire de tenir compte de la persistance des hydrocarbures échoués et des contraintes opérationnelles limitant les mesures d'intervention. Ce n'est que récemment que l'on a accordé une certaine attention à ces facteurs interdépendants. Il est indispensable de mieux préciser ces facteurs de grande importance et d'améliorer la forme sous laquelle l'information requise est présentée. Dans le passé, l'une des principales méthodes a consisté à étudier toute l'information concernant l'environnement. Il est plus utile de faire une synthèse des données de façon à ne retenir que les séries de données appropriées. Plusieurs études qui traitent de ce problème sont en cours et l'on espère qu'elles apporteront de précieux résultats dans les deux prochaines années.

Conclusion

Les déversements d'hydrocarbures sont souvent spectaculaires et ils font la manchette des journaux, mais leurs effets dans la zone côtière sont rarement graves ou à long terme. L'impact se produit surtout sur l'opinion publique et relativement à l'aspect et à la beauté des lieux. De graves perturbations occasionnelles des écosystèmes côtiers peuvent déranger les activités humaines et modifier l'utilisation de la zone littorale de même qu'elles peuvent changer l'équilibre naturel des populations des espèces. L'état actuel des connaissances ne permet pas d'évaluer les effets sub-létaux à long terme d'un déversement d'hydrocarbures, mais des expériences récentes révèlent que la restauration de la zone littorale s'effectue en moins de 10 ans. Une contrainte imposée à l'homme et à l'écosystème peut être grave, mais elle est généralement de courte durée. On ne connaît jusqu'à présent aucun changement irréversible qui se soit produit au Canada; cependant, l'on manque également de données précises sur les impacts des déversements. Le principal danger des déversements d'hydrocarbures provient du transport et de la manipulation du pétrole brut et des produits pétroliers. Vu l'accroissement de ces activités, il est vraisemblable que le nombre et le volume des déversements d'hydrocarbures augmenteront dans l'avenir. La côte atlantique du Canada, incluant le golfe du Saint-Laurent et le fleuve Saint-Laurent, détient le record de fréquence des déversements d'hydrocarbures étant donné qu'il s'agit d'une des principales voies de transport du pétrole importé.

Les déversements d'hydrocarbures, en particulier les gros accidents en mer, sont une source de pollution facilement identifiable dans les milieux côtiers. L'impact de ces incidents est généralement limité dans l'espace et dans le temps, de sorte que malgré des traces bien visibles leur gravité sur le plan des modifications anthropiques de l'environnement est assez faible par rapport à d'autres sources de pollution.



ANNEXE I—OPÉRATIONS DE PROTECTION ET DE NETTOYAGE DES RIVAGES

Dispersion par voies chimique et physique

La dispersion des hydrocarbures dans la zone littorale par des agents chimiques ou des procédés mécaniques nécessite l'endiguement et l'enlèvement des hydrocarbures dispersés. La dispersion par voie chimique exige l'application d'agents de faible toxicité sur les hydrocarbures afin d'augmenter leur mobilité en réduisant leur tension superficielle. La nappe d'hydrocarbures est alors évacuée de la zone littorale par des processus anthropiques ou naturels. Cette méthode nécessite l'autorisation de l'organisme de réglementation, à savoir Environnement Canada. D'autres techniques de dispersion comportent:

- la dispersion hydraulique à haute pression
- le nettoyage à la vapeur ou à l'eau très chaude
- le nettoyage au jet de sable
- la dispersion hydraulique à faible pression

Ces techniques de dispersion appliquent l'énergie mécanique aux hydrocarbures afin d'extraire le polluant des sédiments ou des substrats durs. La dispersion hydraulique sous pression, le nettoyage à la vapeur ou à l'eau très chaude et le nettoyage au jet de sable nécessitent tous l'apport d'une grande quantité d'énergie mécanique. Ces techniques sont également préjudiciables à la flore et la faune de la zone littorale, en plus d'être lentes et coûteuses. La dispersion hydraulique à faible pression est préférable sur le plan biologique et peut être utilisée dans les milieux de marais sans causer de dommages graves à la végétation, à condition d'être appliquée correctement. L'utilisation efficace de toutes ces techniques a pour effet soit d'évacuer le pétrole à la surface des eaux adjacentes où il sera récupéré, soit de canaliser le mélange eau/pétrole dans des fossés ou des puisards où il sera également récupéré.

Enlèvement des hydrocarbures et des matières polluées

Les techniques qui comportent l'enlèvement physique du pétrole ou des sédiments mazoutés dans la zone littorale couvrent un large éventail de procédés mécaniques et manuels. La méthode appropriée dépend de la quantité de pétrole dans la zone littorale, du type d'hydrocarbures, de la profondeur de pénétration et de la capacité portante des sédiments pour les véhicules. Sur les plages de sable larges et plates, où le pétrole est confiné à la surface, l'utilisation d'une niveleuse ou d'une décapeuse est une technique très efficace pour enlever le pétrole et les sédiments pollués et qui, par ailleurs minimise l'extraction d'éléments non touchés. Cependant, sur les plages de cailloux ou de galets où la traction est généralement faible, le seul engin d'intervention possible est le tracto-chargeur ou le véhicule sur chenilles. Pour les déversements où l'on note des volumes plutôt faibles de pétrole échoué dans la zone littorale, les techniques manuelles peuvent être préférables. Une règle fondamentale dans les opérations de nettoyage consiste à enlever le minimum de sédiments non pollués. Les méthodes recommandées pour toutes les techniques de nettoyage (Foget *et al.*, 1979) peuvent, à condition d'être appliquées correctement, garantir le succès des interventions. Des opérations mal exécutées peuvent entraîner l'insertion du pétrole dans des sédiments non touchés auparavant, des déversements pendant le transport à l'extérieur de la zone littorale ou un enlèvement excessif de sédiments.

Logistique de l'intervention

L'étendue d'une zone touchée par un déversement d'hydrocarbures détermine dans une large mesure les besoins en équipement et en personnel requis pour mener à bien les opérations de nettoyage de la zone littorale. Il est primordial que les mesures d'intervention soient organisées avec efficacité, et basées sur de bonnes communications, de manière à pouvoir protéger ou nettoyer les zones prioritaires et superviser les opérations en vue d'assurer que le nettoyage ne provoque pas plus de dommages que le déversement.

Dans les endroits éloignés, la logistique des interventions présente souvent des difficultés extrêmes. L'éloignement peut entraver sérieusement l'efficacité des opérations. Le manque de personnel ou d'équipement mobilisable sur place nécessite de prévoir son transport, souvent sur des distances considérables, et sa disponibilité pour la durée des opérations de nettoyage. Le brouillard, les vents, le froid et la neige peuvent limiter l'efficacité et le rendement de l'équipement et du personnel, en particulier dans des milieux situés à de hautes latitudes. Le plan des opérations de nettoyage doit tenir compte non seulement des priorités de l'intervention, mais également de la sécurité et du confort de l'équipe de nettoyage. La nature et les objectifs d'une opération de nettoyage sont souvent déterminés par la disponibilité des ressources locales, les conditions d'accès et d'autres facteurs de logistique. Dans les zones côtières du sud, plus peuplées, les opérations de nettoyage sont facilitées par les réseaux routiers, les points d'accès aux navires et la disponibilité du personnel et de l'équipement. Dans ces régions, la mise en oeuvre d'une stratégie d'intervention est généralement plus efficace et plus rapide que dans les milieux éloignés.

Coûts du nettoyage

Le coût des opérations de nettoyage des déversements côtiers d'hydrocarbures peut être très élevé. En 1970, les opérations de nettoyage entreprises à la suite du déversement de l'ARROW se sont chiffrées à plus de 3 millions de dollars. Le déversement du NEPCO 140 (tableau 7), dont le volume ne représentait qu'un dixième de celui de l'ARROW, s'est traduit par un coût de 8,6 millions de dollars (américains) en 1976. Un déversement de 45 460 L seulement provenant d'un réservoir de stockage de combustible et s'écoulant dans un cours d'eau au Québec, en 1981, a nécessité des dépenses de plus de 2 millions de dollars en opérations de nettoyage. L'escalade des coûts du nettoyage destiné à atténuer l'impact des déversements d'hydrocarbures risque de donner lieu à d'éventuelles difficultés financières. Les études effectuées en Suède sur le nettoyage des rivages révèlent que les coûts sont de l'ordre de 7 à 30 $ par mètre linéaire de plage (Lingren et Norrby, 1980). La même recherche établit que les coûts de protection et de nettoyage s'échelonnent de 500 à 10 000 $/t d'hydrocarbures déversés.

BIBLIOGRAPHIE

Campbell, B.; Kern, E.; et Horn, D. 1977. Impact of Oil Spillage from World War II Tanker Sinkings. Report No. MITSG-77-4. Department of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts.

Cejka, P. 1975. Étude de différentes méthodes de nettoyage d'un marais à scirpe pollué par du mazout. Rapport n° UE-IR. (Région du Québec). Service de protection de l'environnement. Ministère des Pêches et de l'Environnement. Ottawa, Ontario.

Cole, H.A. 1979. «Marine Planning and the Objectives of Marine Pollution Control.» Marine Pollution Bulletin. vol. 10, n° 1, pp. 1-2. Pergamon Press. Elmsford, New York.

Fingas, M.F.; Duval, W.S.; et Stevenson, G.B. 1979. Principes fondamentaux du nettoyage des déversements d'hydrocarbures: Compte tenu spécialement du sud du Canada. Service de protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Foget, C.R., *et al.* 1979. Manual of Practice for Protection and Cleanup of Shorelines. U.S. Interagency Energy/Environment R&D Program Report. EPA-600/7-79/-187. 2 Volumes. Washington, D.C.

Great Lakes Basin Commission, 1975. Great Lakes Basin Framework Study: Appendix C9 - Commercial Navigation. Great Lakes Basin Commission. Ann Arbor, Michigan.

Levy, E.M. 1981. «Background Levels of Petroleum Residues in Baffin Bay and the Eastern Canadian Arctic: Role of Natural Seepage.» Petroleum and the Marine Environment: Proceedings Petromar 80. Monaco. pp. 345-362. Graham and Trotman Ltd. London, England.

Lingren, K., et Norrby, S. 1980. Oil and Chemical Pollution from Ships. Ministry of Agriculture. Stockholm, Sweden.

Loncarevic, B.D., et Falconer, R.K. 1977. An Oil Slick Occurrence off Baffin Island. Relevé géologique du Canada. Rapport des activités, Part A. Paper 77-1A. Energie, Mines et Ressources Canada. Ottawa, Ontario.

Maiero, D.J.; Castle, R.W.; et Crain, O.L. 1978. Protection, Cleanup and Restoration of Salt Marshes Endangered by Oil Spills - A Procedural Manual. Report to U.S. Environmental Protection Agency by URS Company. San Mateo, California.

Ministère des Transports. 1970. Rapport du groupe spécial de l'opération hydrocarbures. (Nettoyage du mazout répandu par l'ARROW dans la baie Chédabouctou.) 4 tomes. Ottawa, Ontario.

NATES. non publié. National Analysis of Trends in Emergencies System. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

National Academy of Sciences. 1975. Petroleum in the Marine Environment. Washington, D.C.

Oil Spill Intelligence Report. 1980. Oil Spills in 1979 - An International Summary and Review. vol. III, n° 21. Cahners Pub. Co. Boston, Massachusetts.

Owens, E.H. 1977. Coastal Environments of Canada: The Impact and Cleanup of Oil Spills. Rapport de révision économique et technique. Rapport SPE-3-EC-77-13. Direction générale du contrôle des incidences environnementales. Service de protection de l'environnement, Pêches et Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

_____, et Drapeau, G. 1973. «Changes in Beach Profiles at Chedabucto Bay, Nova Scotia, Following Large-Scale Removal of Sediments.» Journal canadien des sciences de la terre. vol. 10, n° 8. pp. 1226-1232. Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

_____, et Rashid, M.A. 1976. «Coastal Environments and Oil Spill Residues in Chedabucto Bay, Nova Scotia.» Journal canadien des sciences de la terre. vol. 13, n° 7, pp. 908-928. Conseil national de recherches du Canada. Ottawa, Ontario.

_____, et Robilliard, G.A. 1981*a*. «Spill Impacts and Shoreline Cleanup Operations on Arctic and Sub-Arctic Coasts.» Proceedings 1981 Oil Spill Conference. Pub. No. 4334. pp. 305-309. Atlanta, Georgia. American Petroleum Institute. Washington, D.C.

_____, et Robillard, G.A. 1981*b*. «Shoreline Sensitivity and Oil Spills - A Re-evaluation for the 1980's.» Marine Pollution Bulletin. vol. 12, n° 3. pp. 75-78. Pergamon Press. Elmsford, New York.

Palm, D.J., *et al.* 1979. Damage Assessment Studies Following the NEPCO 140 Oil Spill in the St. Lawrence River. U.S. Interagency Energy/Environment R&D Program Report. EPA-600/7-79-256. Washington, D.C.

Ramseier, R.O.; Gantcheff, G.S.; et Colby, L. 1973. Oil Spill at Deception Bay, Hudson Strait. Série scientifique n° 29. Direction générale des eaux intérieures, Direction des ressources en eau, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Ross, S.L. 1981. «The Development of Countermeasures for Oil Spills in Canadian Arctic Waters.» Petroleum and the Marine Environment: Proceedings Petromar 80. Monaco. pp. 377-399. Graham and Trotman Ltd. London, England.

Southward, A.J., et Southward, E.C. 1978. «Recolonization of Rocky Shores on Cornwall After Use of Toxic Dispersants to Clean Up the TORREY CANYON Spill.» Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. vol. 35, n° 5. pp. 682-706. Pêches et Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Statistique Canada. 1979. Shipping Statistics, Vol. 22, no. 12 - December 1978. Cat. n° 54-002. Section du transport maritime, Ministère de l'Industrie et du Commerce. Ottawa, Ontario.

Thomas, M.L.H. 1977. «Long-term Biological Effects of Bunker C Oil in the Intertidal Zone.» Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Organisms and Ecosystems. (D.A. Wolfe, éd.). pp. 238-245. Pergamon Press, New York, New York.

Vandermeulen, J.H. 1977. «The Chedabucto Bay Spill - ARROW, 1970.» Oceanus. vol. 20, n° 4, pp. 31-39. Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole, Massachusettes.

_____, et Ross, C.W. 1977. Évaluation d'essais de nettoyage dans un marais salant souillé par des hydrocarbures - déversements du GOLDEN ROBIN, Miquasha, Québec. SPE-8-EC-77-1F. Service de la protection de l'environnement. Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Wardley-Smith, J., éd. 1976. The Control of Oil Pollution on the Sea and Inland Waters. Graham and Trotman Ltd. London, England.

L'ACCIDENT DU KURDISTAN: L'IMPACT SUR LE LITTORAL D'UN DÉVERSEMENT DE PÉTROLE EN MER

Esther Kienholz*

**Mlle Kienholz, travaille pour la Direction générale des terres, Bureau régional de l'Atlantique, Halifax (Nouvelle-Écosse).*

TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 154

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU LITTORAL TOUCHÉ 155
- Emplacement et étendue 155
- Géomorphologie du littoral 156
- Vulnérabilité du littoral 156

OPÉRATIONS DE NETTOYAGE 157
- Méthodes de nettoyage 158
- Sites d'enfouissement des résidus mazoutés 159

L'IMPACT SUR LES CÔTES DE TERRE-NEUVE DU PÉTROLE DÉVERSÉ PAR LE KURDISTAN 160
- Étendue de la côte polluée et nettoyage 161

RÉPERCUSSIONS SUR L'UTILISATION DES TERRES 162
- Pêches 162
- Conservation de la faune 162
- Loisirs 163
- Agriculture 163
- Extraction des agrégats 163
- Forêts 163

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS 163

REMERCIEMENTS 164

BIBLIOGRAPHIE 165

CARTES

1. Routes d'enfouissement des sections avant et arrière du KURDISTAN 154
2. Impact du pétrole déversé par le KURDISTAN sur le littoral de la Nouvelle-Écosse 155
3. Sites d'enfouissement du mazout du KURDISTAN 159
4. Étendue du littoral mazouté, Terre-Neuve 161
5. Plages récréatives - Nouvelle-Écosse 162

FIGURES

1. Enlèvement des matières mazoutées sur le littoral de la Nouvelle-Écosse 157

TABLEAUX

1. Caractéristiques des sites d'enfouissement des déchets mazoutés 160
2. Chronologie sommaire des événements 163

INTRODUCTION

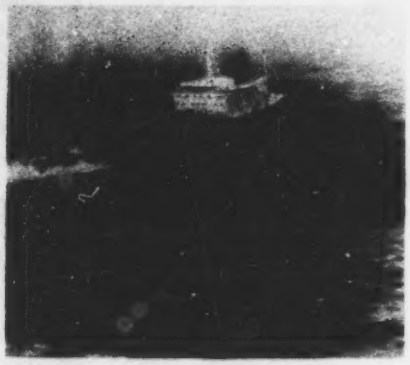


Photo 1. Section arrière du KURDISTAN. 1979.
Ministère de la Défense nationale

Le 15 mars 1979, naviguant par vents violents en milieu très englacé, le pétrolier britannique KURDISTAN s'est brisé en deux à 50 milles marins au nord-est de Sydney (Nouvelle-Écosse). Environ 6 800 t (métriques) de bunker C (mazout lourd) ont été déversées dans les eaux du détroit de Cabot. Curieusement, les sections avant et arrière du navire ont continué à flotter, comme on peut le voir sur les photographies 1 et 2. Ces sections contenaient respectivement 14 512 et 6 349 t d'hydrocarbures.

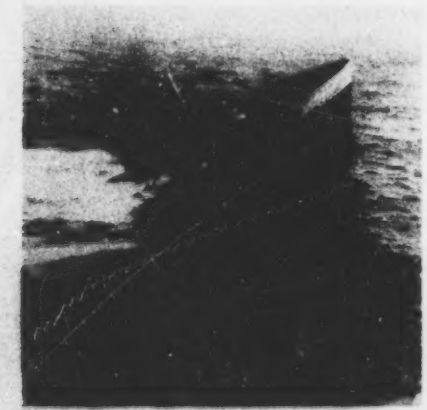
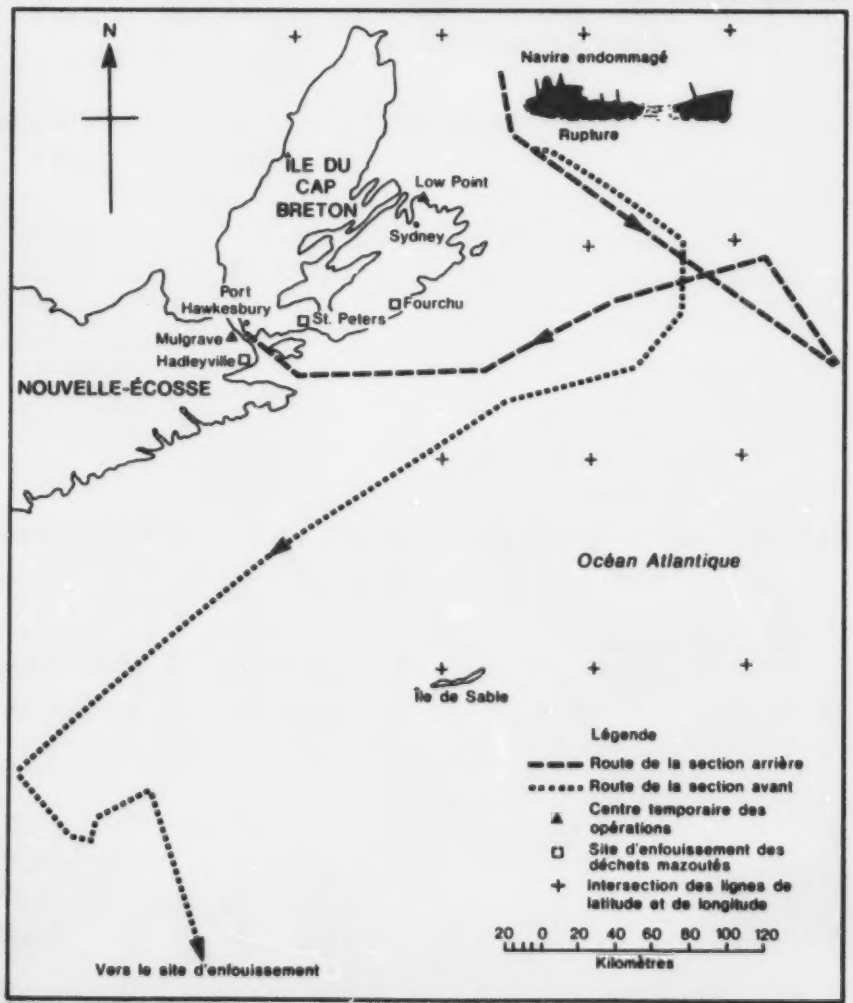


Photo 2. Section avant du KURDISTAN, 1979.
Ministère de la Défense nationale

Après étude, il a été établi que la section arrière, plus grosse, pouvait être remorquée en toute sécurité jusqu'à Port Hawkesbury. Le 23 mars, la section est arrivée au port et les opérations de déchargement par allège se sont déroulées avec succès entre le 28 et le 30 mars

Carte 1.
Routes d'enfouissement des sections avant et arrière du KURDISTAN



Source: adapté de Duerden et Swiss, 1981

1979. La section avant du navire posait, cependant, un autre genre de difficulté: la seule solution était en effet de la saborder, ce qui a été fait le 1er avril 1979 dans un site choisi, au sud de l'île de Sable, au large du plateau continental de Scotian. L'endroit où le bateau s'est rompu et le trajet qu'ont ensuite suivi les deux sections du navire sont présentés à la carte 1.

Devant l'urgence, le gouvernement fédéral a réagi sans délai. Le Centre du trafic maritime de la Garde-côtière canadienne (GCC) de St. John's (Terre-Neuve) a reçu presque immédiatement les rapports préliminaires de l'accident et a aussitôt transmis l'information aux autres organismes intéressés. La GCC a agi à titre de commandant des opérations (CO) et a dirigé l'intervention sur le terrain. Le même jour, le Service de la protection de l'environnement

(SPE) d'Environnement Canada mettait sur pied une équipe régionale d'intervention d'urgence (ERIU) pour conseiller le CO. Trois sous-groupes de l'ERIU ont été formés pour s'occuper respectivement de la section avant, de la section arrière du navire et du nettoyage du pétrole déversé.

Les opérations de nettoyage ont coûté environ 5,5 millions de dollars aux gouvernements fédéral et provincial. Plus de 90 p. cent de cette somme ont été dépensés par la GCC. Le ministère des Pêches et des Océans en a dépensé de son côté 6 p. cent et le reste des dépenses a été partagé entre les provinces, Environnement Canada et le ministère de la Défense nationale (GCC maritimes, 1980).

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU LITTORAL TOUCHÉ

Emplacement et étendue

Au cours du printemps et de l'été 1979, les hydrocarbures déversés par le KURDISTAN se sont étalés sur une grande superficie, polluant les côtes de la Nouvelle-Écosse du nord de la baie Sainte-Anne (au cap Breton) jusqu'au sud de Lunenburg, et celles de Terre-Neuve de Port-aux-Basques à la baie Sainte-Marie. Comme l'impact de ce déversement a été relativement minime à Terre-Neuve et que les données recueillies dans cette province sont peu nombreuses par rapport à celles que nous possédons pour la Nouvelle-Écosse, l'information présentée dans le présent chapitre et dans le chapitre sur les opérations de nettoyage ne porte que sur la Nouvelle-Écosse. Nous traitons de l'impact du déversement du KURDISTAN à Terre-Neuve dans un chapitre spécialement consacré à cette province. La carte 2 donne des indications générales sur l'étendue du littoral légèrement ou fortement mazouté en Nouvelle-Écosse. La pollution a été ressentie plus loin mais de façon intermittente.

Si la glace qui se trouvait dans le détroit de Cabot et le long de la majeure partie du littoral (photo 3) a empêché, au début, les hydrocarbures d'atteindre le rivage, elle a également rendu difficile la surveillance de l'étalement de la nappe. La surveillance a été entravée parce que les hydrocarbures ont glissé sous la surface de l'eau peu après le déversement. Deux semaines ont passé avant que les rapports signalent au Centre des interventions d'urgence en Nouvelle-Écosse l'arrivée des hydrocarbures sur les côtes. Le 27 mars 1979, de petites quantités de pétrole ont été observées dans le voisinage des secteurs de Petit-de-Grat, de pointe Michaud et de L'Ardoise, au cap Breton. Des nappes plus

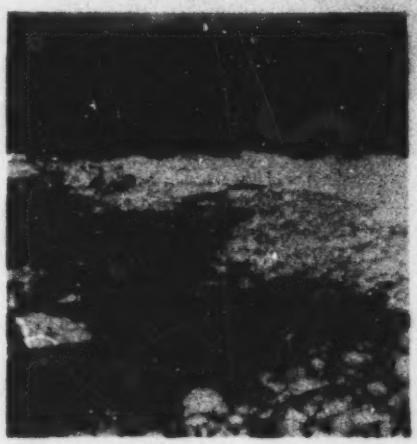
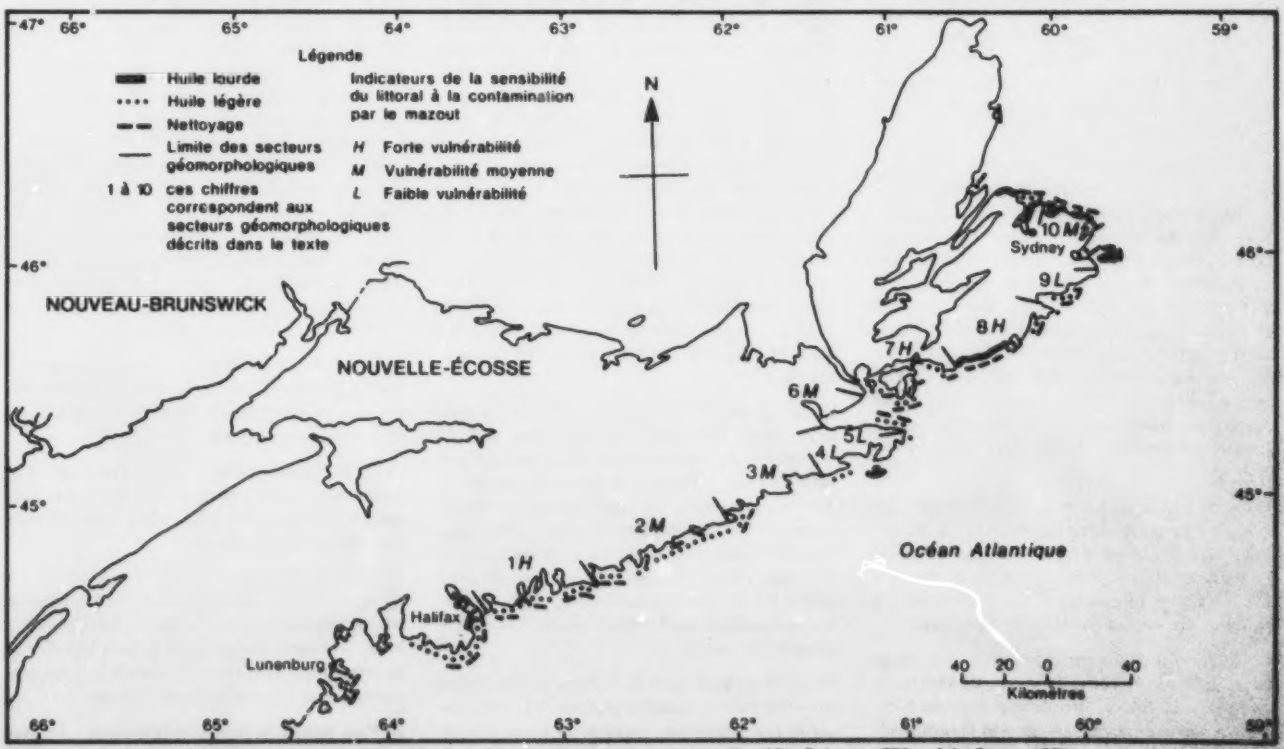


Photo 3. Région de Gaberouse - Hydrocarbures sur la glace de rivage, 1979.
Division des interventions d'urgence, Environnement Canada, Dartmouth

Carte 2.
Impact du pétrole déversé par le KURDISTAN sur le littoral de la Nouvelle-Écosse



Source: R. Simmons, communication personnelle, 1981; P. LeBlanc, communication personnelle, 1981; Reinson, 1979 a & b; Owens, 1971a.

grandes ont été signalées entre la pointe Michaud et Mira. La surveillance des rivages était assurée quotidiennement au printemps et pendant une partie de l'été par un réseau composé d'agents du ministère des Pêches, du personnel des parcs et de celui des ministères de l'Environnement provincial et fédéral. Des vols quotidiens ont en outre été effectués par la GCC et le ministère de la Défense nationale (MDN).

Géomorphologie du littoral

Les propriétés physiques d'un rivage déterminent en partie l'impact que peuvent avoir les hydrocarbures sur les ressources en terres. La capacité naturelle d'un rivage de s'autonettoyer est influencée par sa géomorphologie.

D'après les renseignements compilés par Reinson (1979*a*, 1979*b*) et Owens (1971*a*, 1971*b*), le littoral de la Nouvelle-Écosse, de Halifax à Glace Bay, peut être divisé en dix secteurs géomorphologiques, présentés sur la carte 2. Voici une brève description de chaque secteur.

1) De la pointe Hartlen à la pointe Stoddart—Le rivage est caractérisé par de la roche en place exposée, des promontoires de till et des baies profondément indentées, souvent entourées en partie par des cordons littoraux et des flèches de sable. Les lagunes et les baies possèdent de vastes battures et marais. Les promontoires exposés et les plages se trouvent dans un milieu où l'attaque des vagues est forte par rapport aux marais protégés, aux lagunes et aux baies partiellement fermées. La présence de nombreux marais et autres milieux protégés rend ce secteur très vulnérable à la pollution par les hydrocarbures.

2) De la pointe Stoddard à la pointe Liscomb—Le rivage est très indenté, très irrégulier, avec de nombreuses baies peu profondes. La baie Ship Harbour et l'estuaire Sheet Harbour, qui forment deux grandes indentations, sont les seules exceptions. Des affleurements du substratum rocheux sont observés sur de nombreux îles, bancs et récifs, ainsi que sur le rivage continental. De petites plages concaves de blocs et de cailloux se sont formées sur la côte. Le rivage se trouve dans une zone où l'attaque des vagues est de modérée à faible, leur force s'étant perdue en grande partie contre les îles et les bancs du large.

3) De la pointe Liscomb à New Harbour—Le rivage est caractérisé par des baies et des estuaires larges, linéaires et profondément indentés. La roche en place y prédomine et les plages bien développées y sont rares. C'est une région où l'attaque des vagues est de modérée à forte.

4) De New Harbour au cap Canso—Le rivage est dominé par la roche en place; les sédiments sont rares; la côte est irrégulière, avec de nombreuses îles voisines du rivage. On trouve quelques plages concaves de galets. Les galets et les blocs recouvrent généralement la roche en place. Sauf pour la baie Tor, il s'agit d'une région à forte attaque des vagues. Comparativement aux secteurs 1 à 3, ce secteur est peu vulnérable à la pollution par les hydrocarbures.

5) La rive sud de la baie Chédabouctou—Le rivage qui s'étend de Canso à Guysborough peut être décrit comme une côte rectiligne, abrupte, bordée d'une plate-forme continentale étroite. L'orientation de ce secteur est structurellement contrôlée par la faille de Chédabouctou et contraste remarquablement avec la rive nord irrégulière. Les plates-formes rocheuses et les falaises basses avec des plages concaves de galets et de sable grossier prédominent. La quantité de sédiments augmente d'est en ouest, mais en général la quantité de matériaux remaniables dans cette zone est plutôt faible.

6) Rive occidentale de la baie Chédabouctou—La côte ouest qui s'étend de Guysborough au détroit de Canso se distingue par une linéarité générale résultant de la pente uniforme de la surface du terrain en direction sud-est. La rive consiste principalement en falaises de till en cours d'érosion, séparées par de larges plages d'accumulation de galets. Comme le till est en majeure partie composé d'argile ou de silt, il a été érodé à la base des falaises par l'action des vagues. La zone de plage comporte donc peu de sédiments.

7) Rive nord de la baie Chédabouctou—La rive nord, qui se distingue par une série complexe d'îles et d'inlets, a été formée par la submersion de basses terres onduleuses. Les îles protègent une grande partie de la côte du déferlement direct des vagues, et la formation de plages a été ralentie dans ces secteurs de faible attaque. Les plages situées dans les endroits protégés consistent habituellement en sédiments grossiers reposant sur une plate-forme de till adossée à une falaise basse (de till également) ou à de la végétation naturelle. Il est rare que l'on observe la formation de levées de plage. Comme c'est le cas sur la côte occidentale, la quantité de sédiments provenant de la terre est faible; le déplacement des sédiments en provenance du large constitue une source plus considérable de sédiments.

8) De la pointe Michaud au fond de la baie Gabarouse—Le rivage se caractérise par de nombreux drumlins en cours d'érosion, par des plates-formes rocheuses en pente douce vers la mer accompagnées de vastes bancs et hauts-fonds, et par des cordons littoraux sableux et peu élevés reliant les drumlins à des lagunes et à de vastes marais. La linéarité relative de cette côte offre peu d'emplacements protégés; le secteur est presque entièrement soumis à une forte attaque des vagues.

9) Du fond de la baie Gabarouse à l'île Scatarie—Des roches métamorphiques très résistantes et peu profondes, recouvertes d'une couche variable de till, caractérisent la côte dans ce secteur. Parmi les autres caractéristiques associées à ces formations, mentionnons les plates-formes littorales rocheuses en pente douce adossées à des falaises de till, les plages concaves de galets et de gravier et les baies ouvertes. Un gradient littoral abrupt réduit l'attaque des vagues sur le rivage.

10) De l'île Scatarie à Glace Bay—Trois vastes baies de direction nord-est dominent la rive de cette zone. Les cordons littoraux du fond des baies enferment de grands estuaires ressemblant à des lagunes. Le fond des baies est exposé à une forte attaque des vagues. Les falaises de grès de 5 à 20 m de hauteur sont courantes dans la région.

Vulnérabilité du littoral

Il est très utile d'évaluer la vulnérabilité de chaque secteur géomorphologique à la pollution par les hydrocarbures pour déterminer les priorités en matière de nettoyage et de prévention. Généralement, les marais et les lagunes sont considérés comme les formes les plus vulnérables, suivies par les milieux protégés ou les plages concaves, les plages exposées, les vasières ou les battures et, enfin, les côtes rocheuses exposées, qui sont les formations les moins vulnérables. La carte 2 indique le degré relatif de vulnérabilité de chacun des 10 secteurs mentionnés ci-dessus.

1) De la pointe Hartlen à la pointe Stoddard—Les nombreuses baies et lagunes que l'on trouve dans cette région en font un secteur très vulnérable à la pollution par les hydrocarbures. Particulièrement fragiles sont les systèmes de lagunes peu profondes de la baie Cow, de Cole Harbour, de West March, du lac Lawrencetown, de l'inlet Chezzetcook, de l'inlet Petpeswick, de Musquodoboit Harbour, de Jeddore Harbour et de Clam Harbour. Dans des conditions de tempête, les cordons littoraux relativement bas et étroits de Martinique, Lawrencetown, Clam Bay et Cow Bay peuvent être complètement recouverts et les zones de marais situées en arrière peuvent être inondées.

2) De la pointe Stoddard à la pointe Liscomb—Par rapport au secteur 1, le vulnérabilité est faible. Les battures dans le fond des baies sont les endroits les plus exposés.

3) De la pointe Liscomb à New Harbour—Les endroits les plus vulnérables sont les zones supérieures des estuaires et des baies, là où se trouvent de nombreux marais.

4) De New Harbour au cap Canso—Il n'y a qu'un faible degré de vulnérabilité à la pollution par les hydrocarbures. À part quelques petits hâvres et rentrants intérieurs dans la baie Tor et la baie Dover, la côte est exposée à l'action nettoyante de la forte attaque des vagues.

5) Rive sud de la baie Chédabouctou—Le secteur présente une vulnérabilité relativement fai-

ble à la pollution par le pétrole. La rive rectiligne compte peu de baies ou lagunes protégées, ce qui limite l'aménagement de plages à des fins récréatives.

6) Rive occidentale de la baie Chédabouctou—La rive occidentale, comme la rive méridionale, présente un profil passablement régulier. La présence de formations d'accumulation telles que des crêtes, des flèches et des tombolos a favorisé la formation d'une variété de lagunes ou d'étangs protégés qui pourraient souffrir d'une pollution par les hydrocarbures dans des conditions de tempête. Le secteur a une vulnérabilité modérée.

7) Rive nord de la baie Chédabouctou—Les nombreux emplacements soumis à une faible attaque, que l'on trouve le long de ce segment côtier irrégulier, entraînent une plus grande vulnérabilité que celle des côtes ouest et sud. Plusieurs plages de sable font de la côte un endroit propice aux activités récréatives, mais ces plages sont exposées à la pollution par le pétrole.

8) De la pointe Michaud au fond de la baie Gabarouse—La vulnérabilité est grande. Un système de lagunes et de marais productifs s'est formé à l'arrière d'étroits cordons littoraux. Des chenaux de trop-plein érodent les dunes; dans des conditions de tempête ou de vives eaux, les vagues peuvent atteindre le système de marais et y introduire des hydrocarbures. Les marais, les baies, les lacs et les battures sont des habitats de reproduction pour la sauvagine et servent également de halte migratoire tant à la sauvagine qu'aux oiseaux de rivage; ils servent d'aire d'alimentation aux aigles pêcheurs, aux aigles à tête blanche et aux grands hérons bleus. L'île Verte au large du cap Gabarouse est une importante aire de nidification.

9) Du fond de la baie Gabarouse à l'île Scatarie—On n'observe aucun cordon littoral ou lagune; par conséquent, le degré de vulnérabilité est plus faible que dans le secteur 8. Les zones les plus vulnérables sont les plages de Main-à-Dieu et de l'est de l'île Scatarie, la baie Louisbourg et un certain nombre de plages concaves exposées, orientées à l'est et au sud-est. Trois grandes plages de sable peuvent également être polluées.

10) De l'île Scatarie à Glace Bay—Comme dans le secteur de la pointe Michaud à la baie Gabarouse, il existe un système bien développé de lagunes et de cordons littoraux. Les cordons littoraux se trouvent au fond des baies Glace, Schooner, Morien et Mira. Tous sont étroits, orientés au nord-est, composés surtout de sable et découpés par des inlets. Étant donné la pollution massive du secteur de marais du lac Big Glace Bay, ce dernier a été l'objet d'une grande attention à la suite du déversement du pétrole du KURDISTAN. Ce marais est un endroit important pour la faune: il est utilisé par la sauvagine migratrice, il abrite une colonie de sternes et il sert de lieu d'alimentation au grand héron bleu et à l'aigle à tête blanche, entre autres. La baie Morien a une importance semblable pour la faune. Aussi, le secteur est-il modérément vulnérable à un déversement d'hydrocarbures.

OPÉRATIONS DE NETTOYAGE

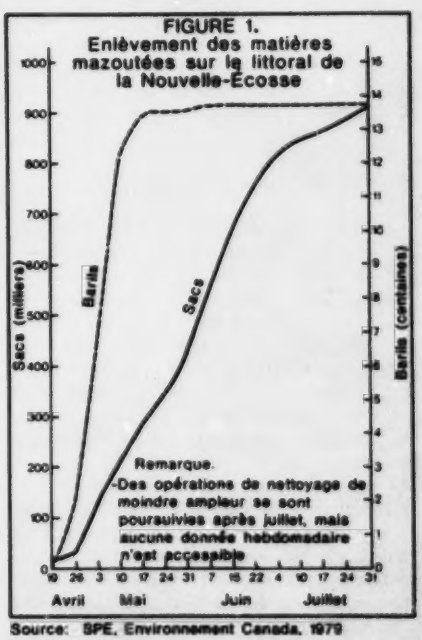
La GCC et le SPE ont collaboré à la compilation des relevés sur la pollution et à la réalisation des travaux de nettoyage. Les opérations étaient dirigées à partir de centres temporaires situés à Low Point et à Mulgrave, ainsi qu'à partir de Halifax. Environ 880 km de littoral ont été nettoyés à la main en Nouvelle-Écosse (voir carte 2) au cours du printemps et de l'été 1979. Comme les hydrocarbures continuaient à échouer sur le rivage pendant cette période, il a été nécessaire de procéder à un nouveau nettoyage en de nombreux endroits. Avec le temps, les hydrocarbures à nettoyer se présentaient sous diverses formes, à cause de leur altération et des variations de température (photographies 4 et 5).

Photo 4. Petit-de-Grat - Région d'Arichat - Plage de blocs et de galets mazoutés, 1979.
Division des interventions d'urgence, Environnement Canada, Dartmouth

Environ 1 milliard de sacs de plastique et 1 500 barils de 195 litres ont été remplis d'hydrocarbures ou de débris mazoutés. La majeure partie de ceux-ci a été déposée dans trois sites d'enfouissement approuvés par la Province, le reste étant évacué dans des décharges municipales ou incinéré. La figure 1 résume l'évolution des travaux de nettoyage.

Dans les endroits desservis par des routes, les sacs et les barils, une fois remplis, ont été transportés par camion. Dans quelques cas, une courte voie d'accès temporaire a été construite afin de faciliter l'enlèvement des matières mazoutées. Dans les régions difficiles d'accès ou dont le littoral était extrêmement vulnérable, ces matières ont été enlevées à l'aide d'hélicoptères (photo 5).

Photo 5. Plage de pointe Michaud - Plaques de pétrole altéré sur une plage de sable, 1979.
Division des interventions d'urgence, Environnement Canada, Dartmouth



Source: SPE, Environnement Canada, 1979

Photo 6. Marais du lac Big Glace Bay - Des hélicoptères ont facilité la surveillance et l'enlèvement des déchets dans les secteurs vulnérables ou inaccessibles et ont réduit l'impact de la pollution des rivages, 1979.
Division des interventions d'urgence, Environnement Canada, Dartmouth

Photo 7. Three Fathom Harbour - Opération de nettoyage manuel, 1979.
Division des interventions d'urgence, Environnement Canada, Dartmouth

Les priorités de nettoyage ont été établies en fonction du degré et du type de mazoutage, de l'accessibilité des lieux et du type de rivage, ainsi qu'en fonction de l'importance du rivage pour l'industrie de la pêche, des loisirs et pour la conservation de la nature. Des préoccupations d'ordre esthétique ont souvent imposé des travaux de nettoyage supplémentaires, même lorsque la pollution ne présentait plus aucun danger pour l'environnement, notamment sur les plages récréatives et dans les endroits peuplés. Les travaux de nettoyage s'étendaient non seulement au rivage lui-même, mais aussi aux engins de pêche, aux cales de lancement, aux barrages, et autres éléments du même genre. La «buanderie» mise au point pour le nettoyage du matériel mazouté à la suite de l'accident du ARROW a été remise en service du 13 juin au 20 juillet, ce qui a permis de nettoyer plus de 100 filets, ainsi que divers pièges, barrages de retenue pour hydrocarbures et vêtements imperméables.

Méthodes de nettoyage

L'enlèvement du pétrole et des débris mazoutés des rivages a été fait à la main, à l'aide d'outils de jardin tels que des rateaux et des pelles (photo 7). Les expériences tentées avec la machinerie lourde, au cours du nettoyage qui a suivi l'accident du ARROW dans la baie Chédabouctou le 4 février 1970, ont montré que l'enlèvement de grosses quantités de matières de plage et le déplacement du matériel lourd sur le sol pouvaient détériorer considérablement le rivage.

Les premières nappes à atteindre le rivage étaient visqueuses, ayant été refroidies par les eaux englacées de l'Atlantique. Sauf sur les rivages rocheux, le pétrole s'accumulait généralement sous forme de nappes ou de plaques discontinues dont l'épaisseur avait à peine quelques centimètres. Des dépôts plus épais ont été observés particulièrement le long des rives du lac Big Glace Bay, sur l'île Scatarie, et près de la pointe Michaud. Les plus fortes concentrations d'hydrocarbures se sont accumulées près de la laisse de haute mer, où le pétrole formait une surface dure «bituminée». Avec le temps, les hydrocarbures se sont mélangés avec les sédiments et les algues. De nombreux emplacements ont été mazoutés de nouveau au cours de l'été; le rapport hydrocarbures/sédiments était cependant nettement plus faible dans le cas des plages. Il a souvent été nécessaire, pour des raisons d'ordre esthétique, de nettoyer de nouveau les plages. Pendant la période estivale d'accumulation de sable, l'enfouissement du pétrole sur les plages actives (soumises à des processus de sédimentation et d'érosion) était fréquent.

Taylor et Frobel (1979) ont fait un compte rendu des opérations de nettoyage dans le sud-est du cap Breton. La situation a été analysée en fonction du type d'environnement côtier. Les plages de sable étaient les plus faciles à nettoyer. En effet, les premiers dépôts visqueux d'hydrocarbures ne pénétraient pas dans le sable et pouvaient être facilement râclés sans entraîner beaucoup de sédiments, ni mélanger les matières propres et les matières polluées. Avec l'augmentation des températures, le pétrole est devenu plus fluide, mais même alors, la pénétration est demeurée minime.

Les plages de graviers et de galets posaient davantage de problèmes. Comme il était difficile d'enlever le pétrole qui s'était infiltré entre les gros galets et les blocs, on s'est fié davantage à l'action nettoyante naturelle des vagues et au processus de transport des sédiments. Des bancs de varech qui se trouvaient sur l'avant-plage supérieure, et qui avaient absorbé une grande partie des premiers hydrocarbures, ont été enlevés assez facilement, tout comme de petites quantités de graviers mazoutés. Les hydrocarbures qui avaient formé un revêtement dur à la laisse de haute mer ont été brisés afin de faciliter le processus d'érosion.

En raison de leur accès difficile, les rivages rocheux ont habituellement été laissés au nettoyage par des processus naturels. Cela a toutefois posé certains problèmes dont, entre autres, une nouvelle pollution des plages avoisinantes. En effet, lorsque le pétrole se réchauffe, il s'écoule jusqu'au niveau de l'eau où il forme une pellicule luisante. Cela a peu de répercussions écologiques, mais nuit à la beauté du paysage.

Les marais du lac Big Glace Bay et de Framboise Cove ont été fortement mazoutés. À quelques exceptions près, cependant, le pétrole était confiné au bord des rives et des petits chenaux parcourant les marais. Dans l'ensemble, le nettoyage au rateau et à la pelle a été efficace. Les travaux de nettoyage ont finalement été interrompus au lac Big Glace Bay, car les équipes de nettoyage, en piétinant la végétation, causaient plus de tort à l'environnement que la petite quantité de pétrole qui subsistait. Les fuites de matières mazoutées contenues dans les sacs de

plastique que l'on avait empilés sur un terrain surélevé avant leur évacuation n'ont posé qu'un problème mineur.

Sites d'enfouissement des résidus mazoutés

Les dommages causés par les hydrocarbures aux systèmes côtiers sont partiellement proportionnels à la célérité avec laquelle les secteurs pollués sont restaurés. L'accessibilité de sites d'enfouissement adéquats pour les résidus mazoutés est donc un facteur important dans les opérations de nettoyage.

En 1976, le ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse a lancé un programme visant d'une part à trouver des sites se prêtant à l'enfouissement des hydrocarbures et des résidus pétroliers et d'autre part à élaborer des méthodes d'utilisation de ces sites. Deux emplacements choisis avant l'accident du KURDISTAN ont été utilisés avec succès; un autre site a été choisi après le déversement (Letson, 1980). Parmi les facteurs pris en considération dans le choix de ces sites, mentionnons les suivants: les droits de propriété sur le site, l'accès, l'utilisation des terres, l'emplacement, l'isolement, la qualité de l'eau. En somme, il fallait quasiment que les sites soient situés sur des terres de la Couronne pour que l'on puisse vraiment assurer leur entretien à long terme et se tenir responsable des déchets enfouis. Il fallait qu'il y ait une route d'accès jusqu'au site. En outre, l'utilisation du site pour l'enfouissement des résidus mazoutés devait être compatible avec l'utilisation des terres, tant sur les lieux mêmes que sur les emplacements adjacents. Dans la mesure du possible, le site devait se trouver à une distance (mesurée en ligne droite) de moins de 10 km de la côte. Enfin, le site ne devait pas se transformer en une source de pollution des eaux.

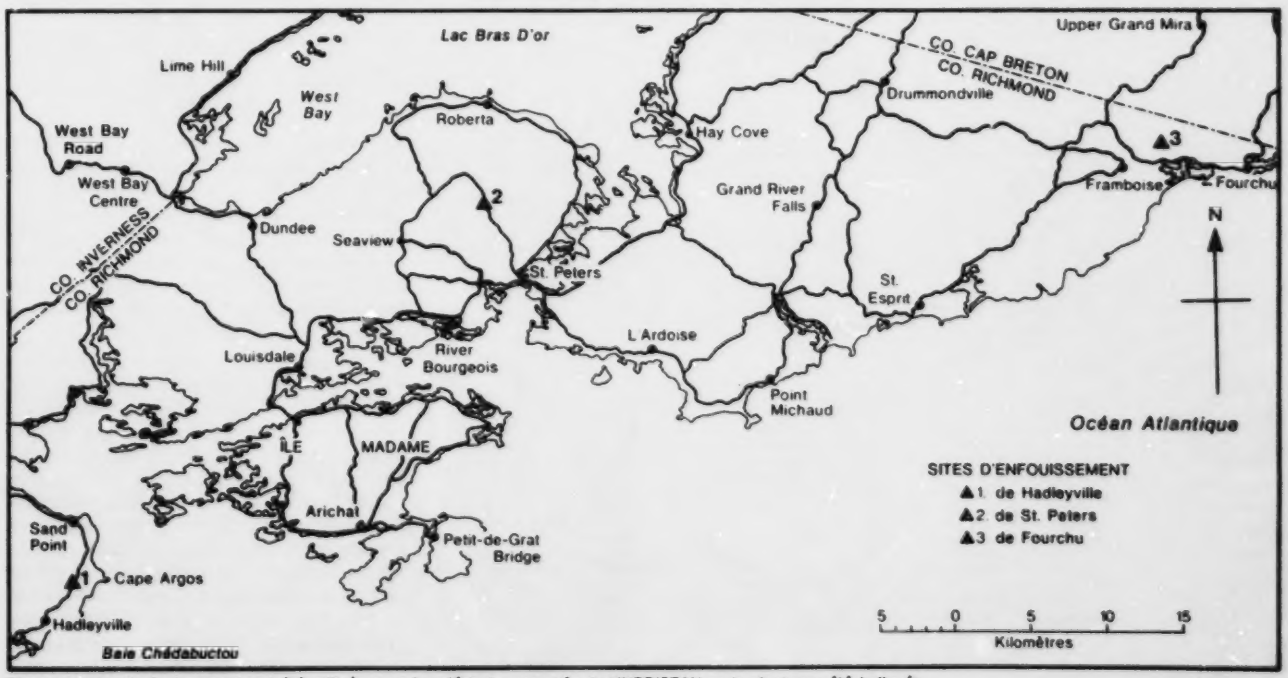
Des directives sur la conception et l'exploitation de chaque site ont été rédigées, bien que certaines étapes d'exploitation et de conception s'appliquent à la plupart d'entre eux. Ces étapes sont résumées ci-dessous: 1) préparation du site; 2) aménagement de tranchées; 3) enfouissement des déchets; 4) fermeture du site.

Préparation du site—La GCC étant responsable du paiement de tous les frais d'enfouissement, elle a participé à la sélection des entrepreneurs engagés pour préparer le site et réaliser les travaux d'enfouissement. Le ministère des Terres et Forêts de la Nouvelle-Écosse, à titre d'administrateur des Terres de la Couronne, était avisé de l'ouverture prochaine de tout site d'enfouissement choisi; ainsi, lorsque le site était déjà loué à une compagnie forestière, une entente était conclue avec le ministère afin que le bois à pâte puisse être coupé et empilé hors du site. Le personnel du ministère provincial de l'Environnement, l'entrepreneur engagé et l'opérateur de la machinerie sur place ont analysé ensemble tous les aspects des opérations. Des routes d'accès bien drainées en tout temps, avec contrôle à l'entrée, ont été construites et des héliports ont été aménagés.

Aménagement de tranchées—La couche de terre végétale devait être préservée en vue d'une restauration du site. Les tranchées devaient être à angle droit par rapport à la pente et devaient être espacées d'environ 20 m; leur profondeur ne devait pas dépasser la surface de saturation. Le puits de contrôle devait être situé au point le plus profond de chaque tranchée. La GCC devait être avisée du moment où le site était prêt à recevoir les déchets.

Enfouissement des déchets—À chaque charge de débris placée dans la tranchée, un tracteur passait sur les sacs et les brisait, facilitant ainsi la biodégradation des débris mazoutés. À la fin de chaque jour, les déchets devaient être complètement recouverts de remblais constitués en pente en direction du puits de contrôle. Pendant les journées de fortes pluies, il était recommandé que les opérations d'enfouissement soient interrompues temporairement; les déchets déchargés à ce moment-là devaient être empilés à proximité de la tranchée et recouverts d'une bâche de toile cirée ou de plastique. Après

Carte 3.
Sites d'enfouissement du mazout du KURDISTAN



D'autres sites d'enfouissement ont été utilisés pour les déchets mazoutés du KURDISTAN mais n'ont pas été indiqués

TABLEAU 1.
Caractéristiques des sites d'enfouissement des déchets mazoutés

Caractéristique du site	Fourchu	St. Peters	Hadleyville
Emplacement	Comté de Richmond, 4,8 km à l'ouest du village de Fourchu.	Comté de Richmond, 6,5 km au nord-ouest de la ville de St. Peters.	Comté de Guysborough, rive nord de la baie Chédabouctou. 3,2 km au nord-est de Hadleyville.
Accès	Une route en gravier du chantier de la N.S. Forest Industries rejoint la route secondaire bituminée N° 327.	Site adjacent à une bonne route secondaire de gravier reliant St. Peters et Oban.	Site adjacent à la route N° 344 qui rejoint la R.T.C. à Auld's Cove.
Propriété - Dimensions	2 ha alloués par le ministère des Terres et Forêts de la N.-É. au ministère de l'Environnement de la N.-É.; terre louée à la N.S. Forest Industries.	2 ha alloués par le ministère des Terres et Forêts de la N.-É. au ministère de l'Environnement de la N.-É.; terre louée à la N.S. Forest Industries.	2 ha alloués par le ministère des Terres et Forêts de la N.-É. au ministère de l'Environnement de la N.-É.
Végétation	Région récemment déboisée; une sous-végétation dense mais basse couvre la propriété.	Forêts mélangées; le bois mou prédomine; on y trouve des tourbières de sphaigne surélevées.	Forêt mélangée où le bois mou prédomine.
Topographie	Relief en bosses et creux; site d'enfouissement situé à proximité de la crête d'une élévation topographique sur un versant orienté au sud.	Site moyennement onduleux sur le côté nord-est d'une petite colline.	Terrain accidenté; le site se trouve sur la pente nord-est d'un drumlin.
Géologie	Moraine de fond d'une profondeur de 3,5 m; aucun affleurement; la roche en place consiste en pierres volcaniques, en grès, en schiste argileux, en chlorite et en schiste.	Moraine de fond d'une profondeur de 4,6 m; aucun affleurement; la roche en place consiste en conglomérat, grès, schiste argileux et calcaire.	Moraine de fond d'une profondeur de 4,6 m; aucun affleurement; la roche en place consiste en conglomérat, schiste argileux et grès.
Hydrologie	Le site repose sur une ligne de partage du drainage; le drainage se fait directement vers un marais situé au pied de la colline; la distance entre le site et l'inlet de marée le plus proche est de 500 m. La profondeur de saturation se trouve à 0,6-0,9 m. L'écoulement se fait avant tout par les fractures de la roche en place; le puits le plus proche se trouve à 1,6 km à l'ouest.	Le site se trouve dans le bassin hydrographique de la rivière Tillard; le drainage se fait en direction sud par une tourbière de sphaigne jusque dans le lac Browns; une zone d'écoulement hypodermique se trouve au-dessus de la moraine de fond imperméable; il n'y a ni puits, ni maison dans un rayon de 1,5 km autour du site.	Drainage de surface rapide; écoulement vers le nord-est jusque dans un petit ruisseau qui se jette dans la baie Chédabouctou; moraine de fond très imperméable; une source située sur la rive nord du cours d'eau dans lequel le site se draine est utilisée par quelques habitants de la région.
État et utilisation du site	Le site a reçu les déchets mazoutés provenant de 90 km de rivage pollué entre Grand R. et Louisbourg; la préparation du site comprenait: la construction d'une route de 100 m; le déboisement de 1,1 ha; l'installation d'un drain d'assèchement; le creusage de 4 tranchées de 2,5 m de profondeur avec puits de contrôle; le nivellement final et l'ensemencement.	Le site a reçu les déchets mazoutés provenant de 340 km de rivage pollué, entre la route sur digue de Canso et St. Peters; la préparation du site comportait: le déboisement de 0,5 ha; la construction d'une route de 140 m; le creusage de 4 tranchées de 4,6 m de profondeur avec puits; le nivellement final et l'ensemencement.	Le site a reçu les déchets mazoutés provenant de 275 km de rivage pollué, entre Country Harbour et la route sur digue de Canso; la préparation du site a comporté: le déboisement de 0,5 ha; la construction d'une route de 245 m; l'installation d'un drain d'assèchement; le creusage de 3 tranchées de 3,7 m; 5,2 m et 6,1 m de profondeur avec puits de contrôle; le nivellement final et l'ensemencement.

l'averse, l'eau en excès devait être pompée hors de la tranchée. La tranchée pouvait être remplie jusqu'à 0.5 m de la surface du sol. La couche supérieure de remblayage ne devait contenir aucune grosse racine ou branche qui risqueraient d'accroître la porosité. L'utilisation d'une couverture de till argileux propre favoriserait encore plus le ruissellement superficiel et diminuerait la filtration. Une fois les tranchées remblayées, une assiette de chaussée en gravier devait être construite à côté de chaque tranchée, afin de permettre l'accès aux puits de contrôle. Un dossier des déchets contenus dans la tranchée devait être tenu à jour.

Fermeture du site—Une fois la couche supérieure de till disposée sur la tranchée, une couche de terre noire devait être mise en place et ensemencée. Au besoin, des fossés pour les eaux superficielles devaient être creusés. L'assèchement des tranchées, par pompage des puits de contrôle, est nécessaire pour maintenir les débris secs. Des étiquettes indiquant la quantité et le type de polluant, le déversement, l'année et le numéro de tranchée devaient être placées sur chaque puits. Le site devait faire l'objet d'inspection afin de faciliter la surveillance hydrologique.

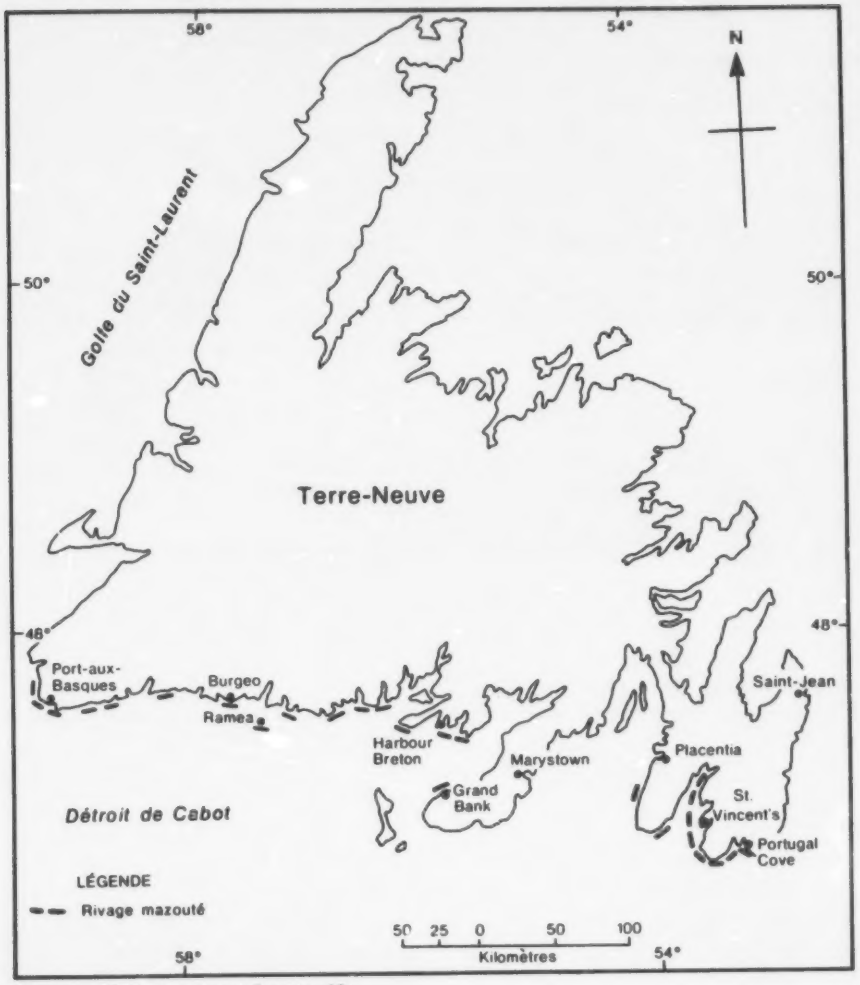
Les trois sites choisis pour l'enfouissement du pétrole et des débris pollués à la suite de l'accident du KURDISTAN se trouvent près de Fourchu, St. Peters et Hadleyville, et ils sont représentés sur la carte 3. Les caractéristiques des sites sont résumées au tableau 1.

L'IMPACT SUR LES CÔTES DE TERRE-NEUVE DU PÉTROLE DÉVERSÉ PAR LE KURDISTAN

À Terre-Neuve, l'impact du déversement d'hydrocarbures par le KURDISTAN s'est fait sentir plus tard et à un degré moindre qu'en Nouvelle-Écosse. Certains rivages ont quand même été pollués entre Port-aux-Basques et Portugal Cove, la péninsule Burin n'ayant cependant guère été touchée. La carte 4 montre les emplacements où le pétrole a atteint le rivage, selon les cas signalés au SPE.

Les travaux de nettoyage devaient avant tout porter assistance à l'industrie de la pêche; fort heureusement, la marée noire ne coïncidait pas avec la saison de la pêche et les engins de pêche n'ont été que peu mazoutés. Dans plusieurs cas, cependant, les cales de lancement et les quais ont dû être nettoyés. Les équipes de nettoyage ont également nettoyé les plages récréatives. Comme en Nouvelle-Écosse, le nettoyage s'est fait manuellement. Les résidus mazoutés ont été évacués dans des décharges municipales voisines ou à l'arrière de la zone de déferlement des ondes de tempête sur le site du nettoyage. On s'est fié en général aux processus naturels pour le nettoyage des rivages rocheux isolés.

Carte 4.
Étendue de littoral mazouté - Terre-Neuve



Source: SPE, Environnement Canada, 1981

L'exposé qui suit repose pour l'essentiel sur des données fournies par le SPE de St. John's; l'étendue et la nature de la pollution des rivages de même que les opérations de nettoyage ne sont abordées que très brièvement dans la documentation existante. Des cartes de la côte ont été dressées par le département de géographie de l'université Memorial en 1977. La Direction générale des terres, région de l'Atlantique, a établi des cartes plus détaillées des péninsules Avalon et Burin en 1980-1981.

Étendue de côte polluée et nettoyage

L'échouage d'hydrocarbures sur le littoral a été signalé pour la première fois à Port-aux-Basques et à l'Isle-aux-Morts pendant la quatrième semaine d'avril 1979. À cet endroit, la côte est rocheuse et par conséquent aucun nettoyage n'a été effectué. Par la suite, la présence d'hydrocarbures a été observée en des endroits situés plus à l'est. Rose Blanche et Grand Bruit ont été pollués; les hydrocarbures s'échouaient sur le rivage sous forme d'une substance goudronneuse contenant peu de sédiments. Le nettoyage des côtes rocheuses de cette région a été laissé aux processus naturels, mais les cales de lancement de Grand Bruit et deux plages de sable ont été nettoyées par les habitants de l'endroit en août 1979.

Des hydrocarbures échoués ont été signalés pour la première fois à Burgeo le 7 juin. Le littoral de cette région a été touché de nouveau à maintes reprises au cours de l'été. Les opérations de nettoyage dans ce secteur ont été assez considérables pour justifier l'établissement d'un centre d'opérations au début de juillet. Burgeo est une localité importante à la fois pour la pêche et pour les loisirs. L'une des plages de sable les plus belles de la côte méridionale y a été aménagée pour les loisirs dans le parc provincial de Sandbanks. Afin de préserver la beauté du parc, on a procédé, en priorité, au nettoyage manuel de ce site. Le nettoyage a commencé le 10 juillet, avec une équipe de 12 personnes. Les résidus mazoutés ont été enfouis à la décharge municipale de Burgeo ou bien dans des fossés creusés à l'arrière de la zone de déferlement des ondes de tempête, dans les limites du parc. Les cales de lancement utilisées par les pêcheurs ont été nettoyées à la main.

Les rivages de Ramea, une autre agglomération de pêcheurs, ont été modérément mazoutés. Les quais ont été nettoyés à la vapeur et l'on a tenté d'enlever à la main le pétrole qui recouvrait les galets de la plage. Deux plages récréatives de Ramea ont été nettoyées.

Baie-de-Loup a été fortement mazouté et l'on a craint pour la population de saumons. Ni le rivage rocheux ni la très belle plage de cette région n'ont été nettoyés.

Les pêcheurs de Grey River utilisent l'anse Dog pour faire sécher leurs filets. Les rivages où sont étendus les filets ont été nettoyés et les résidus mazoutés ont été transportés par bateau jusqu'à Burgeo pour y être enfouis. Les autres portions de rivage de cette région n'ont pas été nettoyées.

Les cales de lancement de François, qui avaient été modérément polluées, ont été nettoyées; toutefois, aucun nettoyage n'a été effectué le long du rivage.

Les régions de Harbour Breton et de Coomb's Cove ont été fortement mazoutées comparativement aux autres secteurs du sud de Terre-Neuve. Le nettoyage d'une plage de sable et de galets, assez étendue, utilisée à des fins récréatives par les habitants de Harbour Breton, a été désigné comme hautement prioritaire. Les matières mazoutées ont été enfouies en partie dans la décharge de Harbour Breton et en partie dans des fosses creusées à l'arrière de la zone de déferlement des ondes de tempête. La plage et les ouvrages à claire-voie de Coombs Cove ont été nettoyés à la main, tandis que les résidus mazoutés ont été enfouis dans la décharge de l'endroit.

La présence d'hydrocarbures dans la baie Ste-Marie sur la presqu'île Avalon a menacé la nombreuse population d'oiseaux du cap Ste-Marie, qui a subi quelques pertes. La pollution du rivage s'est étendue jusqu'au fond de la baie à Haricot. La présence d'hydrocarbures a été signalée ailleurs, comme à Pointe Lance, O'Donnells, Point-La-Haye et St. Vincent's. Les plages de graviers et de galets de O'Donnells et de Pointe-La-Haye ont été nettoyées à la main.

En résumé, la côte méridionale de Terre-Neuve a été polluée à des degrés variant de faibles à modérés entre le nord de Port-aux-Basques et Portugal Cove. Les concentrations d'hydrocarbures étaient plus fortes dans l'est que dans l'ouest. Compte tenu de l'étendue considérable des rivages rocheux et non peuplés de cette région et de la pollution moindre, les opérations de nettoyage ont pris moins d'ampleur à Terre-Neuve qu'en Nouvelle-Écosse. Le nettoyage manuel des rivages visait à restaurer le paysage des zones récréatives (comme le parc provincial de Sandbanks) et à aider l'industrie locale de la pêche. Dans la majorité des cas, le nettoyage se limitait aux ouvrages artificiels tels que les cales de lancement et les quais. La plupart des rivages pollués se sont nettoyés grâce aux processus naturels.

Bien que les dommages causés aux engins de pêche aient été restreints, la présence des hydrocarbures ne coïncidant pas avec la saison de la pêche, c'est l'industrie de la pêche, néanmoins, qui a été la plus touchée sur la côte sud-ouest. Sur la côte sud-est, c'est le nettoyage des secteurs récréatifs qui a été désigné comme prioritaire.

RÉPERCUSSIONS SUR L'UTILISATION DES TERRES

Dans l'ensemble, le pétrole déversé par le KURDISTAN a eu sur l'utilisation des terres un impact mineur et de courte durée. La vaste majorité des demandes d'indemnités est parvenue des pêcheurs. À la fin de juillet 1979, 181 demandes reliées à la pêche et 30 demandes d'indemnités personnelles de dommages à la propriété avaient été soumises à la GCC. Seul un faible pourcentage de ces dernières représentait de grosses sommes d'argent. À moins d'indication contraire, la liste d'impacts qui suit porte sur la situation en Nouvelle-Écosse.

Pêches

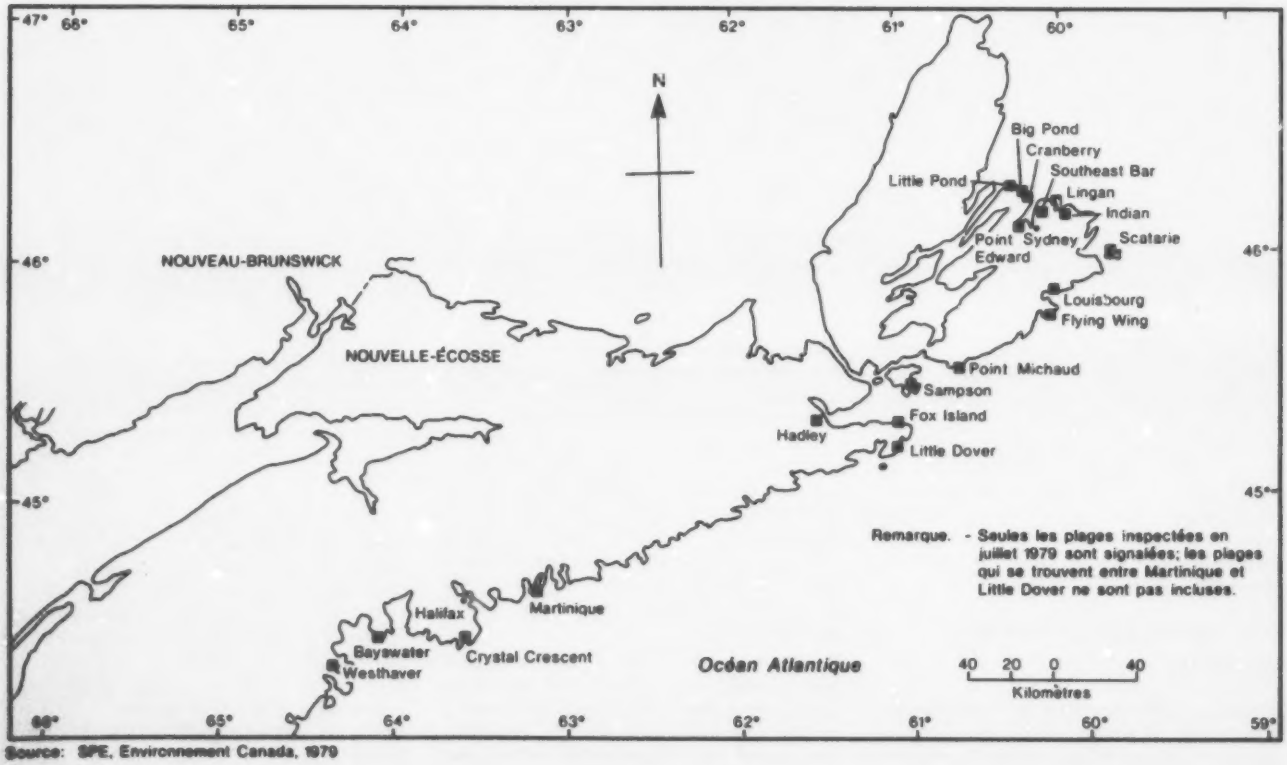
La majorité des dommages causés à l'industrie de la pêche résultaient: 1) du mazoutage des filets, des pièges, des bateaux et autres engins de pêche; 2) des pertes de prises; 3) du temps perdu. Les filets ont pu être nettoyés à la buanderie mise sur pied près de Mulgrave, mais des indemnités devaient être versées pour les pertes de prises et pour le temps perdu. Les problèmes soulevés par le mazoutage des quais et autres ouvrages semblables étaient négligeables. Le mazoutage des zones coquillières, comme Framboise Cove - Fuller's Bridge, a fait craindre une pollution possible des crustacés. Des essais ont indiqué que les palourdes et les moules étaient vulnérables à la pollution par les hydrocarbures et des avis à ce sujet ont été affichés sur certains bancs de palourdes.

Conservation de la faune

Le principal impact du déversement sur la faune a été la mortalité élevée chez les oiseaux de mer, notamment chez les mergules nains et les guillemots. Plus de 2 600 oiseaux de mer mazoutés ont été entraînés sur le rivage en Nouvelle-Écosse. Au total, on a évalué à 25 000 oiseaux les pertes encourues (Vandermeulen, 1980). Un grand nombre de ces oiseaux a été ramassé sur le rivage pendant les opérations de nettoyage.

Bien que la présence d'hydrocarbures en tout point le long de la côte constitue d'une certaine

Carte 5.
Plages récréatives - Nouvelle-Écosse



Source: SPE, Environnement Canada, 1979

façon une menace pour la faune, certains sites sont plus vulnérables que d'autres. Il est apparu, après une inspection des principaux sites fauniques, de la baie Ste-Anne à Capelin Cove au cap Breton, pendant la dernière partie du mois d'avril, que la faune avait subi peu de dommages (Barkhouse *et al.*, 1979). À cette époque, la faune est en effet généralement très peu abondante dans les endroits où la côte a été touchée. Ainsi, de nombreuses populations de goélands bourgmestres, de mouettes et de grands cormorans ont été observées sur les îles Bird, mais aucune trace de pétrole n'a été notée sur les rives. On a toutefois vu des mouettes mazoutées sur d'autres parties de la côte. Aucune trace d'hydrocarbures n'a été observée chez la sauvagine de Indian Bay, du lac Big Glace Bay ou de Morien Bay; cependant, trois grands hérons bleus ont été trouvés morts dans le lac Big Glace Bay. Très peu d'oiseaux ont été aperçus entre Gabarouse et Framboise; parmi les oiseaux observés, seulement une ou deux maubèches pourpres avaient apparemment été mazoutées. Aucun autre oiseau mazouté n'a été observé pendant l'enquête.

Le marais du lac Big Glace Bay, une région importante pour la faune, a été fortement mazouté. Le nettoyage y a été intensif mais les équipes ont été maintenues à des effectifs minimaux lorsqu'il est devenu évident que le personnel causait plus de dommages aux marais que les hydrocarbures.

Loisirs

Étant donné l'époque de l'année à laquelle s'est produit le déversement, l'utilisation des plages récréatives n'a été guère perturbée. Le nettoyage a eu lieu peu de temps après l'échouage du pétrole sur les rivages et le public exigeait que les plages soient nettoyées en priorité. Une inspection des plages récréatives, menée les 11 et 12 juillet par le SPE a montré que la plupart d'entre elles ne nécessitaient aucun nettoyage supplémentaire, les critères utilisés étant d'ordre esthétique plutôt qu'écologique. Les plages inspectées figurent à la carte 5.

Certains entrepreneurs privés d'installations de loisirs ont fait part de leurs craintes au sujet d'éventuelles pertes d'exploitation ou d'argent qu'ils auraient à absorber à cause du mazoutage de leurs propriétés riveraines. Invoquant cela, un entrepreneur de la rive sud de la baie Chédabouctou a d'ailleurs présenté une demande d'indemnité élevée. D'autres propriétaires de terrains à valeur récréative se sont plaints de ne plus avoir accès à la plage.

Agriculture

L'impact du déversement sur les terres agricoles a été minime. Dans un cas, des moutons qui avaient brouté du varech sur le rivage ont souffert de troubles dus à l'ingestion d'hydrocarbures; le propriétaire a fait une demande d'indemnité. Aucun autre effet n'a été observé.

Extraction d'agrégats

Un seul cas de pollution d'une plage dont le gravier était utilisé comme matière première pour la fabrication de pierres concassées a été signalé. La plage a été nettoyée et les opérations d'extraction ont repris dans le cours de l'année. Bien que les travaux aient repris après une courte période, la compagnie a subi des pertes financières parce que le sable a mis un certain temps à retrouver sa qualité initiale.

Forêts

L'aménagement de sites d'enfouissement des résidus mazoutés sur les terres forestières de la Couronne a eu peu d'impact sur les ressources forestières. Au total, environ 6 ha de forêt ont été déboisés. Les routes d'accès étaient courtes et l'entrée était contrôlée. Les fossés ont été ensemencés aussitôt après avoir été remblayés.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Bien que les effets les plus importants et les plus visibles du déversement d'hydrocarbures du KURDISTAN se soient fait sentir sur les populations d'oiseaux de mer et sur les pêches, la pollution d'une grande partie de la côte, du nord de la baie Ste-Anne au sud de Lunenburg (en Nouvelle-Écosse) et de Port-aux-Basques à Portugal Cove (à Terre-Neuve) n'a pas été tout à fait inoffensive. Heureusement, les répercussions ont été plutôt mineures et, en général, de courte durée.

Les priorités en matière de nettoyage étaient fondées sur le volume et le type d'hydrocarbures déversés, les caractéristiques biophysiques du site et l'utilisation des lieux par l'homme. L'expérience acquise au cours du nettoyage qui a suivi l'accident de l'ARROW, en 1970, a pu être mise à profit pour le nettoyage dans les zones touchées par le pétrole du KURDISTAN; ainsi, seules des techniques de nettoyage manuel ont été utilisées. Ce n'est qu'au lac Big Glace Bay que l'on s'est demandé si les équipes de nettoyage ne causaient pas davantage de tort à l'environnement que les hydrocarbures eux-mêmes. Seule une petite quantité de matières mazoutées a été enfouie dans les décharges municipales; la plupart des déchets recueillis en Nouvelle-Écosse ont été acheminés à l'un des trois sites d'enfouissement des déchets mazoutés qui avaient été aménagés et entretenus en conséquence.

TABLEAU 2.
Chronologie sommaire des événements

15 mars 1979	—le pétrolier britannique KURDISTAN se brise en deux, à 50 milles marins au nord-est de Sydney (Nouvelle-Écosse) déversant environ 6 800 t de bunker C dans le détroit de Cabot.
	—la GCC de St-Jean (T.-N.) et le SPE à Halifax sont avisés de l'accident.
16 mars 1979	—réunion de l'équipe régionale d'intervention d'urgence; la décision est prise de remorquer la section avant jusqu'en eau profonde et des mesures sont adoptées en conséquence.
	—le MDN et la GCC entreprennent des vols quotidiens de reconnaissance.
18 mars 1979	—la décision est prise de récupérer la section arrière.
21 mars 1979	—le choix de Port Hawkesbury comme site de déchargement par allège de la section arrière du navire est approuvé.
23 mars 1979	—la section arrière arrive à Port Hawkesbury.
27 mars 1979	—les premiers rivages pollués sont signalés au Cap Breton.
28 mars 1979	—les opérations de déchargement par allège commencent et sont terminées en 2 jours.
	—des équipes de nettoyage sont envoyées à l'île Madame; dans la semaine, les équipes se mettent au travail sur de nombreux emplacements.
Avril 1979	—la section avant est sabordée au sud de l'île de Sable, le 1er avril.
	—de nouvelles nappes de pétrole sont signalées presque quotidiennement.
	—des équipes de nettoyage travaillent tout le mois; la troisième semaine, le nettoyage s'étend jusqu'à Tor Bay.
	—la province de la Nouvelle-Écosse désigne des sites d'enfouissement temporaire pendant la troisième semaine.
	—la présence de pétrole est signalée sur les rivages de Port-aux-Basques et de l'Isle-aux-Morts à Terre-Neuve au cours de la quatrième semaine.

TABLEAU 2.
Chronologie sommaire des événements
Suite

Mai 1979	—de nombreux rapports signalant l'échouage de pétrole sur les rivages entre Lunenbourg et Clam Bay sont reçus pendant la première semaine du mois; de nombreux secteurs sont envahis par la marée noire, une deuxième fois.
	—les équipes de nettoyage poursuivent leurs efforts pendant tout le mois.
	—le SPE aide la province de la Nouvelle-Écosse à choisir des sites d'enfouissement à Fourchu, Hadleyville et St. Peters au cours de la dernière semaine du mois.
	—un grand nombre d'oiseaux de mer morts et mazoutés, ainsi que la pollution des rivages de l'Île de Sable, sont signalés à la fin du mois; des oiseaux de mer, morts ou mazoutés, avaient été observés plus tôt sur le continent.
Juin 1979	—mazoutage des rivages à proximité de Burgeo (Terre-Neuve) pendant la première semaine du mois.
	—une buanderie pour engins de pêche est installée à Port Hawkesbury et commence ses activités le 13 juin.
	—nouveau mazoutage des rivages de la Nouvelle-Écosse et poursuite des opérations de nettoyage.
Juillet 1979	—un nombre croissant de rapports signalant des rivages mazoutés le long de la côte méridionale de Terre-Neuve force l'établissement d'un centre d'opérations à Burgeo.
	—les côtes de la Nouvelle-Écosse sont de nouveau légèrement mazoutées par endroits, les équipes de nettoyage sont réduites et leur activité diminuée.
	—la buanderie ferme le 20 juillet.

L'utilisation du rivage a été restreinte pendant une courte période; dès juillet, la plupart des rivages avaient été nettoyés et, dans certains cas, nettoyés deux fois. Le tableau 2 résume la chronologie des opérations de nettoyage. Les plages récréatives ont nécessité un nettoyage plus poussé que les endroits utilisés moins intensément. Les rivages rocheux ont le plus souvent été laissés au nettoyage par les processus naturels.

Les répercussions sur l'utilisation des terres ont rarement persisté au-delà de quelques mois. Les dommages causés aux engins de pêche ou aux ouvrages à terre ont été minimes. La faune littorale a peu souffert, bien qu'un certain nombre de goélands soient morts. En général, l'utilisation récréative des plages a été peu perturbée; toutefois, quelques particuliers ont soutenu que leur propriété avait perdu de sa valeur à cause du déversement. D'autres incidents isolés se sont produits: l'utilisation des rives comme lieu de pâturage pour les moutons et comme carrière de tamisage de roches concassées a été perturbée. Sauf pour de petites quantités de déchets mazoutés qui ont été déposés dans les décharges municipales, l'enfouissement du gros des déchets n'a nécessité que de petites parcelles de terres soigneusement choisies. Ainsi, l'enfouissement des déchets s'est fait sans conséquence importante.

REMERCIEMENTS

L'information utilisée pour la présente recherche provient de nombreuses sources. J'aimerais cependant remercier M. Randy Simmons, de la Division des interventions d'urgence, Service de la protection de l'environnement, Dartmouth (Nouvelle-Écosse) pour l'aide spéciale qu'il m'a apportée. M. Simmons a mis à ma disposition de précieuses données de première main, ainsi que des rapports et des photos. J'aimerais également remercier M. Gordon Pelly, du Service de la protection de l'environnement à St. John's (Terre-Neuve), pour sa collaboration indispensable à la rédaction du chapitre sur Terre-Neuve.

BIBLIOGRAPHIE

Arbour, Joe; Chan, Bruce; et Hope, Mary. 1981. An Examination of the Management Process Behind the KURDISTAN Incident. Préparé pour MPA 5700B., Dalhousie University. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Barkhouse, H. *et al.* 1979. Interim Reports, Bird Mortality Resulting from the KURDISTAN Oil Spill. Service canadien de la faune. Environnement Canada. Sackville, Nouveau-Brunswick.

Duerden, F. Colin, et Swiss, James J. 1981. «KURDISTAN—An Unusual Spill Successfully Handled». 1981 Oil Spill Conference Proceedings. Paper 015. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

Environnement Canada. 1980*a*. KURDISTAN Report. Draft Copy. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

_____. 1980*b*. KURDISTAN Casualty Onshore Oil Pollution Summary. Service de la protection de l'environnement. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

_____. 1981. The Coastal Zone of the Avalon and Burin Peninsulas, Newfoundland: An Ecological Land Survey. Comprend des cartes 1:50 000 par Eric Hiscock. Direction générale des terres. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

Garde côtière du Canada, Transports Canada. 1980. Clean Up—Summary of Costs and Expenses, 7 mars, 1980. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

Letson, John, R.J. 1980. Oily Waste Disposal Sites Report. Rapport non publié. Ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Owens, E.H. 1971*a*. A Reconnaissance of the Coastline of Chedabucto Bay, Nova Scotia. Marine Science Paper 4. Ministère de l'Environnement. Ottawa, Ontario.

_____. 1971*b*. The Restoration of Beaches Contaminated by Oil in Chedabucto Bay, Nova Scotia. Manuscript Report Series 19. Direction des sciences de la mer, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Ottawa, Ontario.

_____. 1977. Coastal Environments of Canada: The Impact and Cleanup of Oil Spills. Un rapport soumis au Service de la protection de l'environnement, Pêches et Environnement Canada. Analyse économique et technique, Rapport EPS-3. EC-77-13. Ottawa, Ontario.

Pinsent, J., et Scarth, H. 1977. Case Studies for Shoreline Classification of Atlantic Canada. Report for the Eastcoast Petroleum Operators Association par le département de géographie, Memorial University. Saint-Jean, Terre-Neuve.

Reinson, G. 1979*a*. Assessment of Coastline from Glace Bay to Point Michaud for Potential Impingement of KURDISTAN Oil. Rapport pour le service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

_____. 1979*b*. Assessment of Coastline from Hartlen Point to Cape Canso for Potential Impingement of KURDISTAN Oil. Rapport pour le service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

Taylor, R.B., et Frobel, D. 1979. Beach Reconnaissance of Southeast Cape Breton Island In Support of Oil Spill Cleanup Operations. Centre géoscientifique de l'Atlantique, Commission géologique du Canada. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

Vandermeulen, J. ed. 1980. Scientific Studies During the KURDISTAN Tanker Incident: Proceedings of a Workshop. Report Series BI-R-80-3. Institut océanographique Bedford. Dartmouth, Nouvelle-Écosse.

LES DÉVERSEMENTS INTÉRIEURS D'HYDROCARBURES ET LEUR IMPACT SUR LES TERRES

W.B. McGill et D. Bergstrom*

* *Dr McGill est professeur au Département des sciences du sol de l'Université de l'Alberta et M. David Bergstrom est un étudiant diplômé à l'Université de l'Alberta, Edmonton, Alberta.*

TABLE DES MATIÈRES

	Page
DÉVERSEMENTS INTÉRIEURS D'HYDROCARBURES SUR LES TERRES AU CANADA	167
Introduction	167
Historique	168
Portée	170
Importance des déversements	171
Risque de déversement en volume	172
Indice de l'impact sur l'utilisation des terres	172
NATURE DES CONTRAINTES EXERCÉES SUR LES TERRES	177
Introduction	177
Nettoyage et remise en état	178
Impacts biophysiques	179
Nature du pétrole	180
Impacts physico-chimiques	182
Impacts biologiques	183
ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR L'UTILISATION, LA VALEUR ET LE POTENTIEL DES TERRES	184
Impacts sur les terres agricoles	184
Étude de cas: Saskatchewan	187
Impacts sur les terres boisées	188
Étude de cas: Alberta	190
Régions arctiques	191
Conclusion	192
GLOSSAIRE	194
BIBLIOGRAPHIE	195

CARTES

1.	Lieu de naissance de l'industrie pétrolière en Amérique du Nord	169
2.	Champs pétrolifères, pipelines et raffineries	173
3.	Principales régions physiographiques du Canada et principaux oléoducs	174
4.	Nature des principaux sols du Canada et principaux oléoducs	175
5.	Régions de végétation du Canada et principaux oléoducs	176

FIGURES

		Page
1.	Volume des déversements d'hydrocarbures de 1971 à 1978 en Alberta	170
2.	Répartition des déversements d'hydrocarbures par source au Canada, 1974-1975	170
3.	Sources des déversements à terre de pétrole brut et de condensat, au Canada, en 1979 et 1980	171
4.	Sources des déversements à terre d'essence, de mazout (2,4,5,6), d'huile usée, d'asphalte et d'autres produits, au Canada, en 1979 et 1980	171
5.	Emplacement géographique des déversements à terre, au Canada, en 1979 et 1980	172
6.	Représentation graphique des problèmes causés par la contamination du sol par les hydrocarbures	182
7.	Calendrier de régénération de sols albertains présentant des chances de succès, avec application des techniques recommandées pour des déversements d'hydrocarbures d'importance mineure, moyenne et majeure.	186
8.	Représentation schématique d'une croûte d'hydrocarbures	189

TABLEAUX

1.	Nombre de déversements d'hydrocarbures au Canada, en 1978, selon la source	167
2.	Quantités déversées au Canada, en 1978, selon la source	167
3.	Quantités totales de pétrole brut et de produits raffinés déversés à terre, au Canada, en 1979 et 1980	170
4.	Longueurs des oléoducs au Canada	171
5.	Longueurs en km des oléoducs dans différentes régions du Canada à la fin de l'année 1978	171
6.	Facteurs de risques de déversements d'hydrocarbures en volume, au Canada	177
7.	Types d'oléoducs dans différentes régions du Canada, (1978)	177
8.	Indices de la valeur des terres pour les trois principales utilisations des terres au Canada, dans les régions sillonnées par les principaux pipelines	178
9.	Importance relative prévue des impacts des déversements d'hydrocarbures de pipelines sur l'utilisation des terres au Canada	178
10.	Rapport entre la teneur en hydrocarbures et le degré des dommages causés aux sols minéraux et organiques - directives provisoires	184
11.	Tolérance de certaines espèces végétales aux hydrocarbures	186
12.	Cultures, applications d'engrais et rendements de la zone contaminée par le pétrole	187
13.	Effet de la teneur du sol en pétrole sur la production de matière sèche au-dessus du sol	188
14.	Teneur du sol en pétrole autour des plantes croissant en groupes isolés sur le site du déversement	190

DÉVERSEMENTS INTÉRIEURS D'HYDROCARBURES SUR LES TERRES, AU CANADA

Introduction

L'expression «déversement d'hydrocarbures» provoque immédiatement chez la plupart des gens une forte réaction émotionnelle qui évoque généralement une catastrophe en mer. Toutefois, quand il s'agit d'un déversement à terre, une aussi vive réaction du public n'est pas aussi apparente et ne semble pas justifiable. Si ces déversements ne contaminent pas les principales voies d'eau, les préoccupations environnementales du public sont beaucoup moins graves que celles des propriétaires fonciers et de l'industrie pétrolière. Les déversements d'hydrocarbures ont des conséquences économiques importantes pour ceux qui en sont responsables et peuvent occasionner des pertes de production pour les propriétaires fonciers. Ces deux aspects du problème ont incité à entreprendre une action concertée, axée davantage sur les opérations de remise en état que sur l'étude de l'impact environnemental des déversements en milieu agricole. Dans le cas des terres dont l'utilisation est moins intensive, les efforts ont porté sur l'évaluation de l'impact environnemental; les travaux axés sur la remise en état sont effectués seulement lorsque des règlements gouvernementaux l'exigent. Toutefois, à mesure que le coût de ces travaux augmente, l'intérêt manifesté à l'égard des stratégies efficaces et rentables de restauration des sols s'accroît également.

La contamination par les hydrocarbures à la suite d'un déversement à terre affecte surtout le sol. Les déversements d'hydrocarbures à terre proviennent en grande partie du domaine de l'énergie qui comprend: l'exploration et la production; le transport du pétrole par pipeline, par les routes et les chemins de fer; le raffinage; et la commercialisation et l'entreposage. Les tableaux 1 et 2 permettent d'évaluer l'importance relative de ces sources. Par leur nombre et leur quantité, les activités d'exploration et de production sont la principale source de déversements d'hydrocarbures; toutefois, si l'on tient compte seulement des quantités, de nombreux déversements surviennent au cours de la commercialisation, de l'entreposage et lors du transport par pipeline.

Les déversements créent un problème de pollution des terres lorsque au contact du pétrole, le sol et la végétation superficielle subissent divers effets physiques qui sont décrits dans une section ultérieure. La pollution du sol et de la végétation par le pétrole se produit parce que les infrastructures (installations d'extraction, de transport et d'entreposage) reposent sur le sol et, que, dans certains cas comme celui des pipelines, elles sont souterraines. De plus, le pétrole, sous l'influence de la gravité, pénètre profondément dans le sol où à force de descendre il peut atteindre les nappes d'eau souterraine. Le pétrole peut s'écouler sur un sol peu perméable et y pénétrer difficilement ou être absorbé par un sol perméable sur les lieux mêmes d'un déversement. Le pétrole peut s'écouler latéralement le long des discontinuités de texture et de structure dans le sol sur plusieurs dizaines de mètres avant de parvenir à la surface. La série de photographies n° 1 montre certaines particularités du déplacement du pétrole et certains de ses effets. L'un des aspects de ce type de contrainte est exceptionnel parce que l'agent causal, le pétrole même, est biodégradable et, qu'en certains cas, il peut en fait rendre le sol plus productif.

Les impacts de la construction des installations de raffinage et d'entreposage sur l'utilisation des terres éclipsent fréquemment les effets du pétrole déversé dans ces installations. Ce n'est que dans le cas des pipelines que les déversements d'hydrocarbures exercent un impact bien particulier et distinct des impacts des installations de transport, d'entreposage ou de raffinage. Les répercussions des déversements d'hydrocarbures sur la productivité, l'utilisation et la valeur des terres sont difficiles à dissocier de la production pétrolière et du raffinage. La production pétrolière, accompagnée de secousses sismiques lors de l'exploration, de routes, de puits, de puisards et de machinerie lourde, est à l'origine d'une autre série de perturbations ayant des impacts distincts sur l'utilisation des terres.

TABLEAU 1.
Nombre de déversements d'hydrocarbures au Canada en 1978, selon la source

Source	Déversements d'hydrocarbures	Autres déversements
Bateaux	89	2
Terminaux maritimes	24	0
Transport par véhicule motorisé	208	33
Chemins de fer	29	36
Aéronefs	47	10
Exploration et Production [1]	675	513
Pipelines	24	1
Raffineries	18	3
Autres usines industrielles	40	44
Commercialisation et Entreposage	137	18
Autres	115	10
TOTAUX	1 506	670

Remarque:

[1] Dans la catégorie exploration et production, 613 (91,4 %) des déversements d'hydrocarbures sont des déversements de pétrole brut et 499 (96,5 %) des déversements de produits autres que pétroliers sont des déversements d'eau dus à l'extraction du pétrole.

Source: Beach, 1979.

TABLEAU 2.
Quantités déversées au Canada, en 1978, selon la source (en tonnes métriques)

Source	Déversements d'hydrocarbures	Autres déversements
Bateaux	916,1	501,1
Terminaux maritimes	165,1	0,0
Transport par véhicule motorisé	1 193,4	467,4
Chemins de fer	588,1	57 829,0[1]
Aéronefs	12,8	14,7
Exploration et Production [2]	6 542,2	30 689,0
Pipelines	3 126,6	2 450,0
Raffineries	1 347,0	16,8
Autres usines industrielles	382,9	31 157,6[3]
Commercialisation et Entreposage	4 428,3	62 850,5[4]
Autres	485,5	2,6
TOTAUX	19 188,0	185 978,7

Remarques:

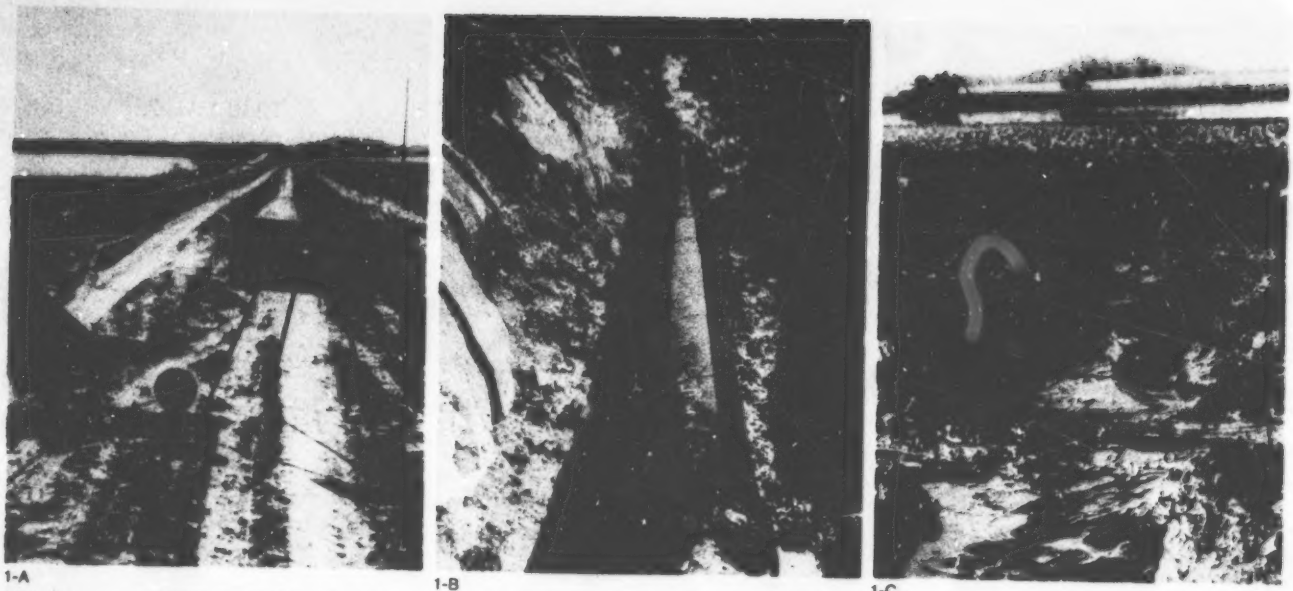
[1] Le soufre représente 53 138 t des déversements de produits non-pétroliers provenant des chemins de fer. Un déversement totalisait à lui seul 49 760 t.

[2] Dans la catégorie exploration et production, environ 5 980 t (96,5 %) des produits pétroliers déversés sont du pétrole brut; environ 26 100 t (84,1 %) des déversements de produits non pétroliers sont dus à l'eau provenant des champs pétrolifères.

[3] Les déversements de déchets de procédés industriels s'élèvent au total à 11 230 t, soit 36 % de cette catégorie.

[4] La fuite d'environ 62 600 t d'un bassin de résidus miniers représente 99,6 % de la quantité totale déversée dans cette catégorie.

Source: Beach, 1979.



1-A 1-B 1-C

Série de photos 1.

Le pétrole répandu à la surface présente un risque d'incendie jusqu'à ce que ses fractions légères se soient dissipées (1-A). Lorsqu'une canalisation présente une petite rupture due à la corrosion par des micro-organismes, à une défectuosité de soudage ou à un affaissement du sol, la pression exercée par le pétrole qui s'en échappe agrandit souvent le trou et augmente la quantité d'hydrocarbures perdue. De longues sections de canalisation doivent être remplacées (1-B), ce qui entraîne des perturbations de la surface du sol, ne durant qu'une courte période quand le sol n'est pas complètement saturé d'hydrocarbures. En certains cas, le pétrole échappé se déplace latéralement à partir de la canalisation (jusqu'à 800 m dans un cas) avant d'apparaître à la surface sur laquelle il s'écoule dans des fossés et des rigoles à travers champs (1-C) et s'accumule dans les dépressions. Pour ce déversement, le pétrole flottant à la partie supérieure de l'eau, visible à l'arrière-plan de toutes les photographies, a été écumé et a causé peu de dommages permanents au site. En de nombreux emplacements, certains dommages plus sérieux sont causés par la machinerie lourde utilisée et les perturbations physiques connexes. De petites quantités de pétrole s'accumulent dans les microdépressions laissées par les travaux de culture antérieurs.

1-A M.J. Rowell, Norwest Soil Research Limited
1-B W.B. McGill
1-C W.B. McGill

Historique

Les déversements d'hydrocarbures peuvent avoir à la fois des causes naturelles et anthropiques. L'action de l'homme a modifié l'ordre de grandeur des quantités de pétrole pénétrant dans les systèmes terrestres, certains emplacements de ces points de pénétration ainsi que la nature des produits pétroliers. Les déversements d'hydrocarbures sont considérés comme une conséquence possible de la production et du transport du pétrole.

Au Moyen-Orient, il est établi, d'après des vestiges d'édifices érigés il y a environ 6 000 ans, le long des rives de l'Euphrate, que l'asphalte (brai de pétrole foncé) était alors employé dans le mortier. L'une des sources de cet asphalte pourrait avoir été les «fontaines de brai» qui sont encore visibles près de Hit en Iraq. Des suintements naturels de pétrole ont été étudiés dans presque toutes les parties du monde et notamment au Moyen-Orient, en Chine, dans la vallée de l'Indus, en Europe, en Amérique du Sud, en Afrique et en Amérique du Nord. Les Indiens d'Amérique du Nord écumaient le pétrole des cours d'eau à l'aide de palettes de bois et le considéraient comme «un excellent médicament pour les entorses, les contusions, la toux et les douleurs» (Purdy, 1957). Les Indiens Seneca de la côte Est faisaient le commerce du pétrole depuis si longtemps et son utilisation comme médicament était si répandue qu'il fut baptisé pétrole des Seneca à l'arrivée des Européens. En 1531, Pizarre trouva une industrie de l'asphalte bien développée à La Brea, au Pérou. La laine de lama, pouvant absorber le pétrole et non l'eau, était utilisée pour recueillir, dans les puits d'eau, le pétrole qui était ensuite chauffé dans des chaudrons d'argile jusqu'à ce qu'il atteigne la consistance voulue. Ce produit était utilisé, entre autres, pour embaumer les corps et étancher les jarres destinées à conserver l'eau (Purdy, 1957).

Les débuts du commerce du pétrole se perdent dans l'antiquité, mais l'histoire rapporte une première utilisation à Bakou, sur la mer Caspienne. Selon Purdy (1957), les gaz enflammés des suintements de pétrole ont également donné naissance à un culte d'adoration du feu à une époque antérieure à l'an 1 000 avant J.-C. Au 13e siècle de notre ère, Marco Polo a décrit l'utilisation du pétrole de Bakou et au 16e siècle les puits de pétrole de cette région alimentaient toute la Perse. Au 18e siècle Pierre le Grand de Russie a conquis Bakou (1723) et nommé un «Maître du raffinage» chargé de la manutention des produits pétroliers et de leur expédition en Russie.

Les suintements naturels de pétrole le long de la rivière Athabasca en Alberta sont connus depuis longtemps et c'est Alexander Mackenzie qui a révélé leur existence sur le fleuve Mackenzie en 1789. Le premier déversement important d'hydrocarbures signalé en Amérique du Nord se serait produit en 1829, lorsqu'un forage de puits destiné à obtenir du sel près de Barkesville, au Kentucky, a frappé un gisement de pétrole. Environ 160 m^3 de pétrole s'écoulaient chaque jour de ce puits et dans la région avoisinante, notamment la rivière Cumberland (Purdy, 1957). Aucun effort n'a été tenté pour utiliser le pétrole ou éviter qu'il contamine la région. Ses effets n'ont pas persisté.

La capacité des systèmes terrestres naturels d'assimiler du pétrole est presque générale (McGill *et al.*, 1981) bien que dans certains sols nordiques, il semble que certains organismes dégradant le pétrole ne soient pas indigènes. Cette tolérance générale des écosystèmes terrestres à une faible exposition au pétrole n'est pas surprenante étant donné le long passé de la présence naturelle du pétrole dans ces environnements.

Au Canada, l'histoire des déversements d'hydrocarbures est aussi ancienne que l'industrie pétrolière, qui est antérieure à celle des

CARTE 1.
Lieu de naissance de l'industrie pétrolière en Amérique du Nord

Source: Extrait et adapté de Purdy, 1957.

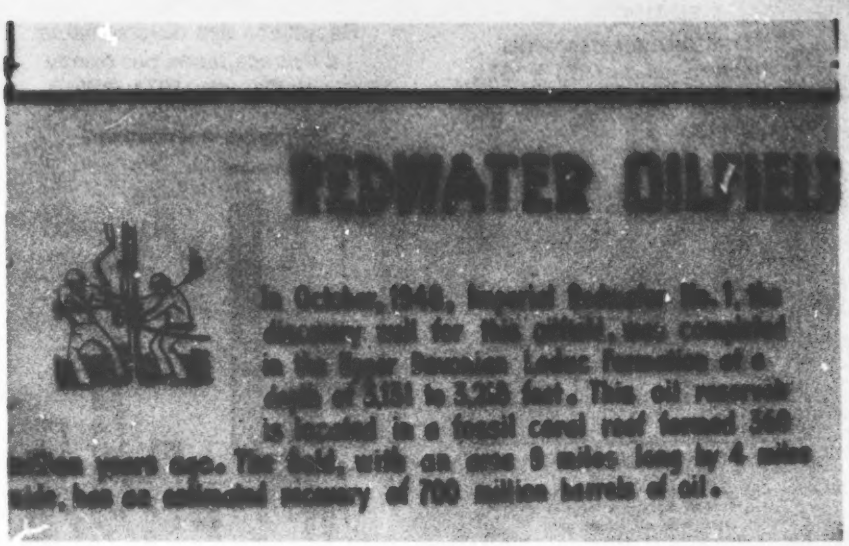


Photo 2. La découverture du champ pétrolifère de Redwater en 1948, après celle du champ Leduc en 1947, a confirmé les prévisions sur l'existence de pétrole dans l'Ouest du Canada et a contribué à récompenser les efforts consacrés à de longues recherches apparemment infructueuses de gisements de pétrole jusqu'à cette époque.
W.B. McGill

États-Unis. Au Canada, la fabrication de produits pétroliers remonte à 1852, ce n'est toutefois qu'en 1854 que fut créée légalement à cette fin, à Enniskillen, Ontario, l'International Mining and Manufacturing Company. Du point de vue de l'utilisation des terres, il est intéressant de signaler que ce fut pendant une étude du sol de la région d'Enniskillen qu'on a découvert les «dépôts de résine» qui ont donné naissance à cette industrie. Malheureusement, et c'est peut-être caractéristique du Canada, cette première compagnie a commencé à vendre ses propriétés pétrolières en 1856, puis plus tard elle a disparu. Les premiers puits étaient rudimentaires et, selon les normes d'aujourd'hui, les déversements de pétrole autour des sites de production étaient énormes par rapport à la quantité de pétrole extraite. Entre 1857 et 1860, un puits a été creusé à Oil Springs, près d'Enniskillen (carte 1). Il avait «49 pieds [15 m] de profondeur, 7 pieds de largeur sur 9 pieds de longueur [0,65 x 0,80 m²] et était boisé à l'aide de petites grumes» (Purdy, 1957). Son propriétaire, J.M. Williams, était le premier en Amérique du Nord à obtenir du pétrole en quantité suffisante pour le raffiner et le vendre comme huile d'éclairage et lubrifiant. Le deuxième champ pétrolifère important a été découvert à Petrolia en 1860 et le champ Bothwell fut exploité peu après. On n'extrait plus de pétrole d'un champ découvert en 1875 au Nouveau-Brunswick.

De nouvelles activités pétrolières se déroulèrent en 1920. Elles ont abouti à la découverte de pétrole le long du fleuve Mackenzie (Norman Wells) près du Cercle arctique (Purdy, 1957). Les déversements de pétrole dans l'Arctique ne sont évidemment pas nouveaux, mais ils n'exercent apparemment aucun impact persistant sur le milieu ou sur l'utilisation des terres. Dans les régions septentrionales, les répercussions du pétrole déversé sur l'utilisation des terres semblent davantage liées aux activités associées à la production et au transport.

Au Canada, le premier déversement important de pétrole s'est produit en 1862 à Petrolia, Ontario, où une éruption a fait jaillir le pétrole au-dessus de la cime des arbres. Cinquante acres [20 ha] de terres ont été couverts de pétrole sur une hauteur de un à trois pieds et le ruisseau Black en a reçu suffisamment pour noircir le lac St. Clair (Purdy, 1957).

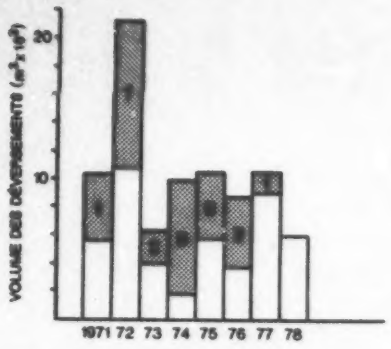
Dans l'ouest du Canada, des Indiens ont signalé des suintements de pétrole près de Pincher Creek, en Alberta et, en 1866, John Brown recueillait et utilisait le pétrole comme lubrifiant; plus tard, d'autres l'utilisaient et le vendaient aux éleveurs de bestiaux. Le forage commença en 1891 (Purdy, 1957) et bien que les quantités de pétrole et de gaz trouvées aient été petites, elles incitaient à continuer l'exploration et satisfaisaient certains besoins locaux. En 1913, un puits à Turner Valley (à l'ouest de Calgary) atteignit une zone riche en naphte qui pouvait être rentable mais, entre 1914 et 1921, la production n'était que de 3 à 5 m³ par jour.

En 1924, la première grande éruption de gaz du Canada se produisait à Turner Valley. Le tubage fut projeté hors du puits et le gaz qui s'échappa librement brûla pendant plusieurs semaines avant d'être maîtrisé. Des quantités estimées à 5 700 000 m³ de gaz naturel et 80 m³ de naphte s'échappaient chaque jour. Après cela, la production de naphte augmenta considérablement dans Turner Valley. En 1942, le champ de Turner Valley produisait chaque jour 4 770 m³ de pétrole. Par ordre d'importance après ceux de Petrolia et de Norman Wells, il était le troisième champ pétrolifère canadien et le deuxième qui fournissait du pétrole aux raffineries canadiennes. Le quatrième champ pétrolifère important fut découvert en 1947 à Leduc, en Alberta (photo 2).

Dans l'ouest du Canada, le premier et le plus gros déversement de pétrole eut lieu dans le champ pétrolifère de Leduc-Woodbend. Au mois de mars 1948, une éruption s'est produite au puits Atlantic n° 3A, à environ 30 km au sud-ouest d'Edmonton, laissant échapper librement pendant 5 mois, près de 160 000 m³ de pétrole qui ont inondé environ 40 ha de terres. Aujourd'hui, la végétation de toute cette région a été restaurée (Brushett, 1975) grâce à l'intervention de l'homme conjuguée aux processus naturels.

L'obligation de signaler les déversements d'hydrocarbures à l'Alberta Energy Resources Conservation Board (Organisme de conservation des ressources énergétiques de l'Alberta) a été imposée en 1971. À présent, les déversements sont enregistrés conformément aux règlements en vigueur dans tout le pays; les données sont compilées par différents organismes provinciaux et, sur le plan national, par le Système national d'analyse des tendances de la lutte antipollution (NATES) d'Environnement

FIGURE 1.
Volume des déversements d'hydrocarbures de 1971 à 1978 en Alberta



Remarque: La zone hachurée indique le nombre de déversements majeurs qui se sont produits chaque année et leur volume total.

Source: Brushett, 1979.

Canada. Ces deux sources ont été consultées et l'analyse qui a été faite traite dans les paragraphes suivants de la portée et des répercussions des déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation des terres. Les comparaisons directes des données provenant de diverses sources sont difficiles et dangereuses en raison des différences existant entre les méthodes d'élaboration des rapports appliquées dans tout le Canada.

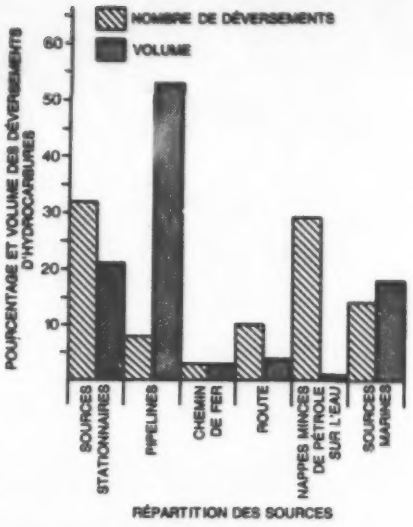
Portée

En Alberta, principale région productrice de pétrole du Canada, les quantités d'hydrocarbures déversées représentent entre 0,01 % et 0,03 % de la production totale. Ces pourcentages varient et reflètent chaque année la différence entre un ou deux gros déversements en rapport avec le volume annuel total (figure 1). À l'exception de 1972, le volume annuel des déversements d'hydrocarbures, en Alberta, a varié entre 6 000 et 11 000 m³. Selon Brushett (1975), les fuites de pipelines causées surtout par la corrosion interne et, secondairement, la corrosion externe, sont les principales sources de déversement.

Sur le plan national, les données de 1974 et 1975 ont été groupées en six catégories principales (figure 2). Du nombre des déversements d'hydrocarbures, les sources stationnaires et les nappes de pétrole sur l'eau représentaient environ 60 %, les sources marines 18 % et les pipelines environ 8 %. Ces derniers toutefois, en dépit du petit nombre de déversements laissaient échapper plus de 50 % du volume de pétrole déversé.

Une répartition plus détaillée du total des déversements d'hydrocarbures de 1978 au Canada (tableaux 1 et 2) montre que l'exploration et la production étaient les causes du plus grand nombre de déversements et du plus grand volume, soit 23 % du pétrole déversé contre 9 % provenant des installations de commercialisation et d'entreposage. Il semble qu'il y ait une disparité entre les données de 1974-1975 et celles de 1978. L'un des problèmes concernant les données obtenues sur le plan national est dû à l'irrégularité des rapports émanant des provinces et des territoires. De grandes variations annuelles peuvent donc autant résulter de l'irrégularité de la réception et de l'élaboration des rapports que de variations de la fréquence des déversements d'hydrocarbures.

FIGURE 2.
Répartition des déversements d'hydrocarbures par source au Canada, 1974-1975.



Source: Pettigrew, 1975.

Un autre problème au sujet des données nationales accessibles est que les conséquences des déversements ne sont pas approfondies de sorte qu'aucune conclusion définitive ne peut en être tirée.

Les régions ont communiqué volontairement les données de 1979 et 1980 au NATES qui les compile et les traite sur le plan national. Les disparités régionales résultent de différences dans les systèmes d'élaboration des rapports des provinces; par conséquent, les totaux calculés n'ont qu'un intérêt limité quand il s'agit de comparer les régions du Canada entre elles. Les différences sont assez marquées dans les types et volumes des déversements touchant les différentes parties du Canada pour permettre toutefois à certaines tendances générales d'apparaître clairement.

D'après les rapports, la quantité totale de pétrole brut et de condensat déversés variait annuellement entre 6 500 et 8 000 t, soit entre deux et quatre fois plus que la quantité de produits raffinés déversés. Toutefois, le nombre des déversements de produits raffinés n'était que légèrement inférieur à celui des déversements de pétrole brut (tableau 3). Il est intéressant de signaler que le plus gros déversement de produits raffinés signalé en 1979, était supérieur à celui qui a été enregistré, pour le pétrole brut en 1980, ce qui indique un certain chevauchement dans les quantités des différents déversements, malgré que les déversements de pétrole brut tendent habituellement à être plus importants. Sur le plan national, les déversements de produits raffinés et de pétrole brut se produisent à la fréquence d'environ cinq déversements tous les deux jours.

Comme l'ont révélé les données de 1974 et 1975, les quantités déversées varient considérablement d'année en année, mais le nombre des déversements est plus constant, chaque année étant caractérisée par un ou deux gros déversements (figures 3 et 4).

D'après les données de 1979 et 1980, la principale source de déversements de pétrole brut était les pipelines (voir également photo 3); les débordements tendaient à être plus fréquents et à devenir des sources importantes de déversements de produits raffinés. Cette différence a des conséquences sur l'impact des déversements à terre. Les pipelines qui traversent des contrées

TABLEAU 3.
Quantités totales de pétrole brut et de produits raffinés déversés à terre, au Canada, en 1979 et 1980

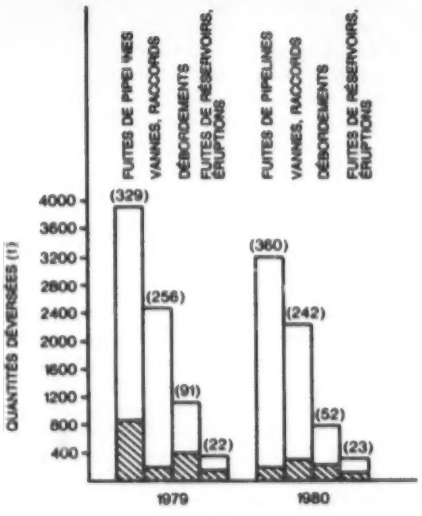
	Pétrole brut		Produits raffinés	
	1979	1980	1979	1980
Nombre de déversements	698	677	511	453
Masse totale (t)	7 763	6 617	3 884	1 838
Déversement le plus important	855 (Fuite de pipeline)	339 (Vanne, raccord)	367 (Déraillement)	134 (Fuite de pipeline)

Les mentions entre parenthèses ( ) figurant sous le déversement le plus important indiquent la source de cet événement.

Source: NATES, non publiée.

FIGURE 3.

Sources des déversements à terre de pétrole brut et de condensat, au Canada, en 1979 et 1980

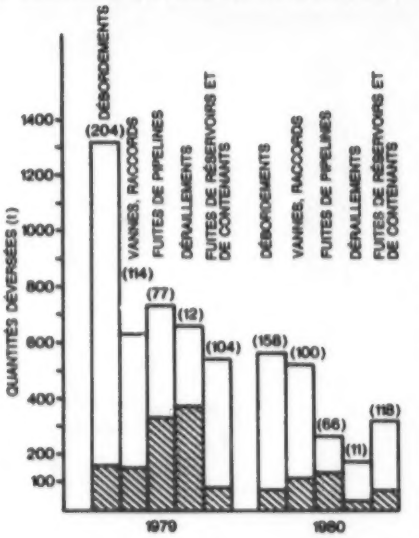


Remarque: La zone hachurée indique le plus gros déversement. Les chiffres entre parenthèses ( ) donnent le nombre total de déversements.

Source: NATES, non publiée.

FIGURE 4.

Sources des déversements à terre d'essence, de mazout (2, 4, 5, 6), d'huile usée, d'asphalte et d'autres produits, au Canada, en 1979 et 1980



Remarque: La zone hachurée indique le plus gros déversement. Les chiffres entre parenthèses ( ) donnent le nombre total de déversements.

Source: NATES, non publiée.

très diverses laissent échapper en cas de rupture surtout du pétrole brut. Quant aux installations d'entreposage elles occupent une surface restreinte et les déversements qui en proviennent peuvent être plus facilement confinés que les déversements des pipelines ne le seront jamais. Par conséquent, une unité de volume de pétrole brut déversé est susceptible de perturber plus de terres qu'une unité de volume de produits raffinés déversés.

La majeure partie du volume total signalé d'hydrocarbures déversés l'a été dans les Prairies. Sur le plan national, les déversements de pétrole brut sont plus importants que les déversements de produits raffinés et 99 % du pétrole brut est déversé dans les Prairies (figure 5). Les déversements de produits raffinés sont plus importants dans le centre du Canada que dans l'ouest, mais pas nécessairement plus fréquents. D'après les rapports, entre 33 % et 47 % des déversements de produits raffinés ont eu lieu en Ontario et au Québec. Très peu de produits raffinés et pratiquement aucun pétrole brut n'étaient déversés à terre dans les provinces de l'Atlantique.

Importance des déversements

Avant 1965, les rapports sur les déversements étaient rares. Toutefois, on peut supposer, pour les deux raisons suivantes, que les pipelines qui constituent actuellement la principale source des déversements ne pouvaient, avant 1960, représenter un facteur aussi déterminant. Premièrement, la plupart des déversements provenant des pipelines sont dus à la corrosion, qui est un phénomène lent et, deuxièmement, avant 1960 le facteur âge-durée-longueur était négligeable. Par exemple, en 1950, il n'y avait que 2 130 km de pipelines au Canada. En 1960, ce chiffre est passé à 13 580 km et en 1978 à 34 420 km (tableau 4). Les principaux pipelines

TABLEAU 4.

Longueurs des oléoducs au Canada

Année	Longueur (km)	Source
1931	273	Purdy (1957)
1945	627	"
1950	2 130	"
1955	7 570	"
1960	13 580	CPA (1979)
1965	19 850	"
1970	27 850	"
1975	32 000	"
1978	34 420	"

se trouvent dans la majeure partie de l'Alberta, dans la partie intérieure de la Colombie-Britannique, dans le tiers sud de la Saskatchewan et dans l'extrême sud du Manitoba (carte 2).

MacKay *et al.* (1974) ont résumé les données des déversements de l'Alberta et du reste du Canada. Ils concluaient que pour des pipelines d'un diamètre de 15 cm ou plus, la fréquence annuelle des déversements n'était environ que de un tous les 1 600 km, alors que pour ceux qui avaient un plus petit diamètre, la fréquence annuelle était d'un déversement tous les 820 km. Si l'on considère la longueur des pipelines classés par diamètre dans les différentes régions, il devient évident que si la fréquence des déversements est calculée en fonction de la longueur du pipeline, on peut prévoir qu'il y aura en Alberta et en Saskatchewan un très grand nombre de petits déversements alors qu'en Ontario le nombre des déversements sera moindre, mais leur volume sera plus important (tableau 5). La longueur totale des pipelines à hydrocarbure de l'Alberta correspond à la moitié de la longueur de tous les pipelines du Canada et à 5,1 fois la longueur des pipelines de l'Ontario.

TABLEAU 5.

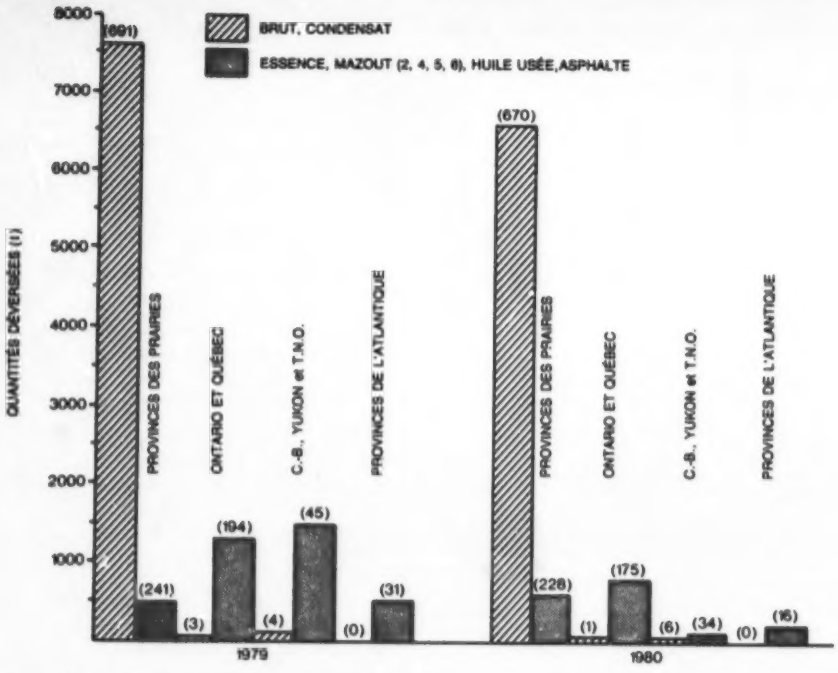
Longueurs en km des oléoducs dans différentes régions du Canada à la fin de l'année 1978

Diamètre du pipeline (cm) / Région	0—14,9	15,0—32,8	33—48,0	>48,0	Total
Yukon	89	—	—	—	89
Colombie-Britannique	539	1 264	—	838	2 641
Alberta	5 183	7 984	1 303	2 895	17 365
Saskatchewan	2 122	3 436	670	1 950	8 178
Manitoba	251	628	426	720	2 025
Ontario	1	1 971	102	1 348	3 422
Québec	—	334	142	224	700
Totaux	8 185	15 617	2 643	7 975	34 420

Source: CPA, 1979.

FIGURE 5.

Emplacement géographique des déversements à terre, au Canada, en 1979 et 1980



Remarque: Les chiffres entre parenthèses ( ) indiquent le nombre de déversements

Source: NATES, non publiée

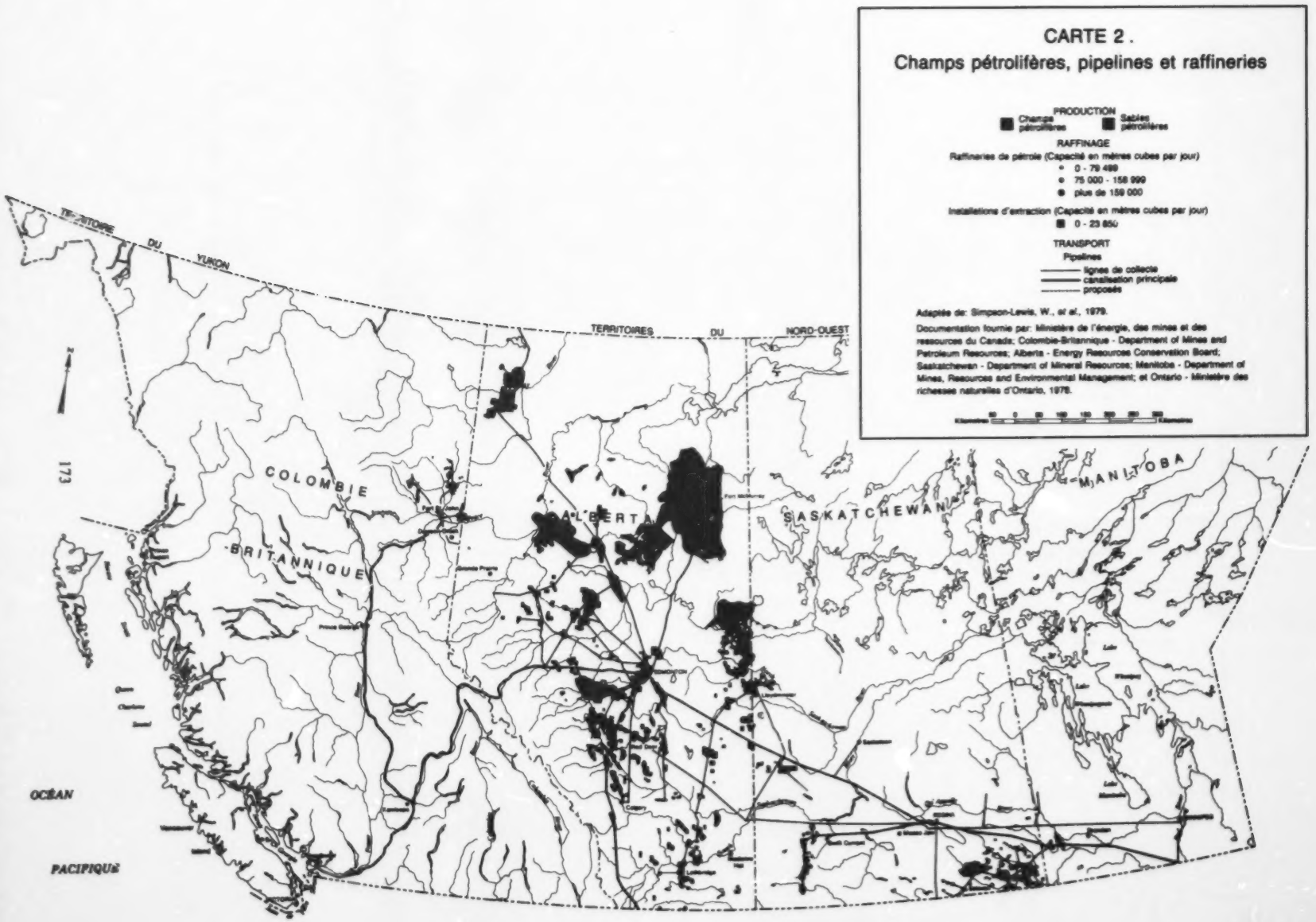
Risque de déversement en volume

Un facteur indiquant le risque de déversement en volume a été calculé en utilisant les volumes moyens des déversements en fonction du diamètre du pipeline indiqués par MacKay *et al.* (1974), des longueurs totales et des grosseurs des pipelines dans chaque région ainsi que de la probabilité d'un déversement en fonction de la longueur. Ce calcul intègre certaines des variables et permet de faire des comparaisons des risques pour l'utilisation des terres dans les différentes régions. D'après ce facteur, le risque de déversement en volume par unité de longueur de pipeline est maximal en Ontario et au Manitoba, soit 2,13 et 1,93 fois de plus par kilomètre qu'en Alberta; viennent ensuite dans l'ordre des risques le Québec, la Colombie-Britannique, la Saskatchewan et l'Alberta. Seul, le Yukon présente un moindre risque de déversement par kilomètre qu'en Alberta (tableau 6). Au total, le risque de déversement en volume est le plus fort en Alberta, suivi de la Saskatchewan puis de l'Ontario, qui peut compter environ 42 % des déversements d'hydrocarbures de l'Alberta. Le Manitoba et la Colombie-Britannique viennent ensuite avec respectivement 22 et 26 % et enfin le Québec et le Yukon avec respectivement 7 % et 0,09 % du risque de déversement de l'Alberta.

Les dommages aux terres ont été définis comme étant la diminution potentielle des possibilités d'utilisation des terres ou de la valeur de celles-ci si une remise en état appropriée n'est pas entreprise. Ces dommages sont déterminés par le type d'hydrocarbure déversé, la quantité d'hydrocarbure par déversement et la diminution de la valeur des terres pour les utilisations non urbaines par rapport à ce qu'elles valaient avant le déversement. L'étude qui a été faite de l'emplacement des principaux pipelines du Canada, des sols, de la végétation et des régions physiographiques qu'ils traversent (cartes 3, 4 et 5) révèle une hétérogénéité considérable de l'environnement physique, de l'utilisation et de la valeur des terres. En raison de cette hétérogénéité un déversement d'un volume donné d'hydrocarbures aura, selon la région, un impact différent sur l'utilisation potentielle des terres. De plus, les pipelines de produits raffinés, qui sont relativement importants en Ontario (tableau 7) causent de plus grands problèmes que les pipelines principaux transportant du pétrole brut. En effet, celui-ci est moins soluble dans l'eau, moins toxique et habituellement moins susceptible de se déplacer par gravité que la plupart des produits raffinés; il couvre une moins grande surface et semble perturber l'utilisation des terres moins longtemps que certains produits raffinés. Les lignes de collecte qui acheminent le pétrole des puits jusqu'aux postes d'élimination de l'eau transportent une certaine quantité de sel qui crée un problème additionnel. Il faut par conséquent trouver un moyen d'intégrer les impacts sur l'utilisation et la valeur des terres aux types de pétrole et aux risques prévus de déversements en volume.

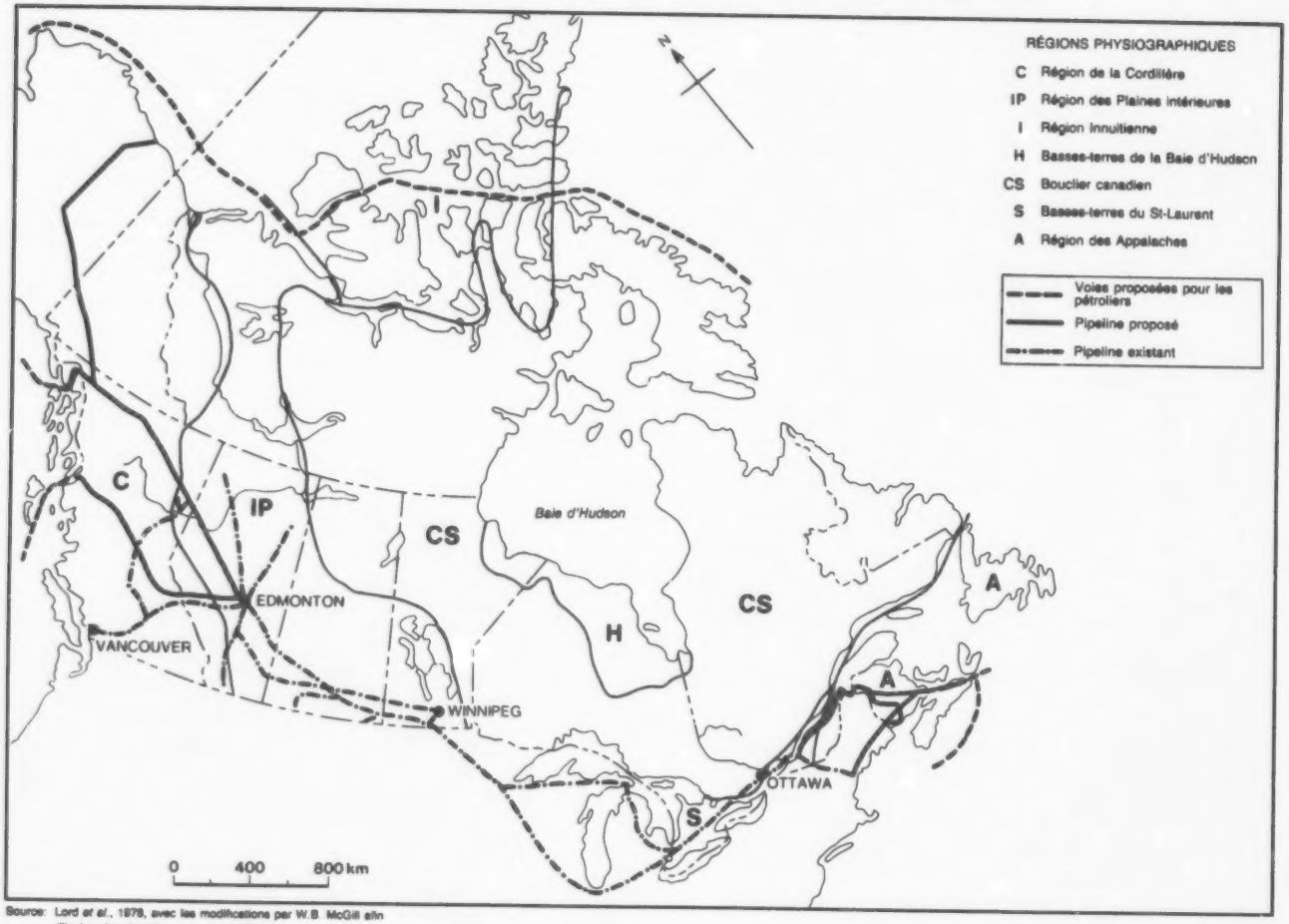
Indice de l'impact sur l'utilisation des terres

Un indice de l'impact sur l'utilisation des terres a été élaboré pour indiquer, à l'échelon national, le degré relatif de perturbation potentielle de l'utilisation des terres ou de la diminution des possibilités d'utilisation des terres causées par les déversements d'hydrocarbures provenant des pipelines. Habituellement, il est prévu que les couloirs de pipelines, mais non les installations fixes d'entreposage et de raffinage du pétrole, continuent à être utilisés pour l'agriculture, la foresterie ou les loisirs. Un déversement d'hydrocarbures provenant d'un pipeline perturbe d'autres utilisations des terres, généralement en limitant les possibilités d'utilisation des terres. Un déversement d'hydrocarbures dans une raffinerie n'a pratiquement aucun impact sur l'utilisation des terres parce que celles-ci ont déjà été affectées aux réservoirs de stockage ou à la raffinerie. Toutefois, lorsque les hydrocarbures quittent ces emplacements, il en résulte une réduction des possibilités d'utilisation des terres. L'indice est basé, en partie, sur des indices de la valeur des terres pour l'agriculture, les loisirs et la foresterie (tableau 8) pour les régions du Canada traversées par les principaux pipelines. Par exemple, les couloirs de pipelines de la Saskatchewan traversent des régions peu attrayantes pour les loisirs de plein air, à l'inverse de ceux de la Colombie-Britannique et de l'Ontario. De même, la valeur de la terre agricole (valeur immobilisée par hectare) est plus faible dans les Prairies qu'en Ontario et au Québec. L'indice de la valeur des terres a été combiné pour chaque région à un indice basé sur le type pondéré de pétrole (pondéré sur la base de la longueur du pipeline transportant divers types de pétroles) cependant que le volume de pétrole aurait constitué un meilleur facteur de pondération. Le dernier composant est l'indice du risque de déversement en volume extrait du tableau 6, qui est exprimé en unités de barils. L'indice du risque de déversement en volume a été converti en un facteur de risque pour la région à l'aide de l'équation de MacKay *et al.* (1974). Les trois indices composants sont multipliés pour obtenir l'indice des risques d'impact sur l'utilisation des terres (tableau 9).


CARTE 2 .
Champs pétrolifères, pipelines et raffineries
PRODUCTION
Champs pétrolifères
Sables pétrolifères
RAFFINAGE
Raffineries de pétrole (Capacité en mètres cubes par jour)
0 - 79 499
75 000 - 158 999
plus de 159 000
Installations d'extraction (Capacité en mètres cubes par jour)
0 - 23 850
TRANSPORT
Pipelines
lignes de collecte
canalisation principale
proposés
Adaptée de: Simpson-Lewis, W., et al., 1979.
Documentation fournie par: Ministère de l'énergie, des mines et des ressources du Canada; Colombie-Britannique - Department of Mines and Petroleum Resources; Alberta - Energy Resources Conservation Board; Saskatchewan - Department of Mineral Resources; Manitoba - Department of Mines, Resources and Environmental Management; et Ontario - Ministère des richesses naturelles d'Ontario, 1978.
TERRITOIRE DU YUKON
TERRITOIRES DU NORD-OUEST
COLOMBIE BRITANNIQUE
ALBERTA
SASKATCHEWAN
MANITOBA
OCÉAN PACIFIQUE
173

CARTE 3.

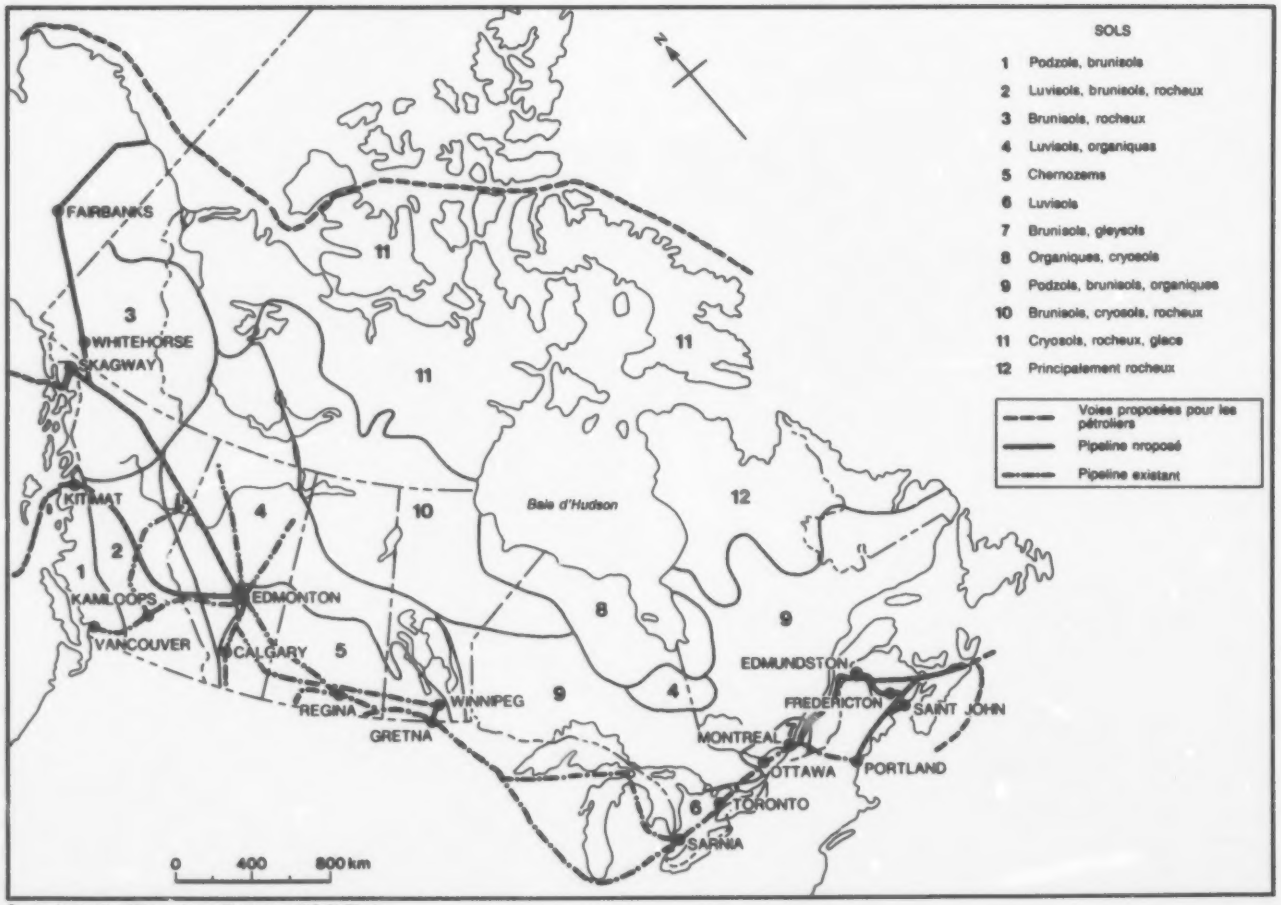
Principales régions physiographiques du Canada et principaux oléoducs



Source: Lord *et al.*, 1978, avec les modifications par W.B. McGill afin d'inclure les pipelines et voies de pétroliers.

CARTE 4 .

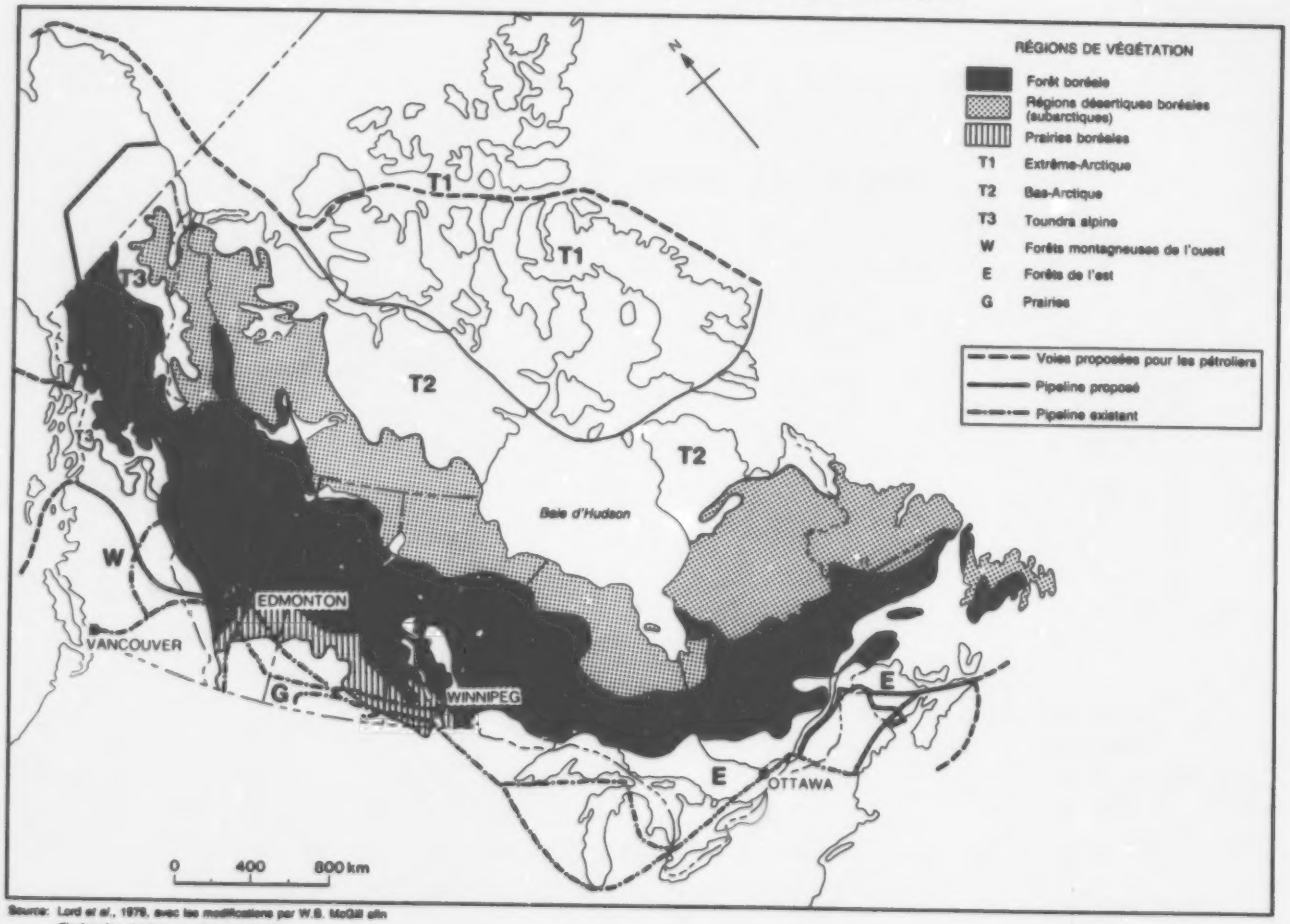
Nature des principaux sols du Canada et principaux oléoducs



Source: Lord *et al.*, 1978, avec les modifications par W.B. McGill afin d'inclure les pipelines et voies de pétroliers.

CARTE 5.

Régions de végétation du Canada et principaux oléoducs



Source: Lord *et al.*, 1978, avec les modifications par W.B. McGill afin d'inclure les pipelines et voies de pétroliers.

TABLEAU 6.
Facteurs de risques de déversements d'hydrocarbures en volume, au Canada

Région	Diamètre du pipeline (cm)	Longueur du pipeline (km)	Risque [1] de déversement en volume par km (barils)	Risque de déversement en volume	Risque relatif [2] de déversement en volume	Risque relatif [2] de déversement en volume
Yukon	0—15	89	0,154	13,7	0,0009	0,17
Colombie-Britannique	0—15	539	0,154	83	0,26	1,74
	15—48	1 264	0,166	210		
	>48	838	4,38	3 670		
totaux		2 641		3 963		
Alberta	0—15	5 183	0,154	798	1,0	1,0
	15—48	9 287	0,166	1 540		
	>48	2 895	4,38	12 680		
totaux		17 365		15 018		
Saskatchewan	0—15	2 122	0,154	327	0,64	1,35
	15—48	4 106	0,166	682		
	>48	1 950	4,38	8 541		
totaux		8 178		9 550		
Manitoba	0—15	251	0,154	39	0,22	1,93
	15—48	1 054	0,166	175		
	>48	720	4,38	3 154		
totaux		2 025		3 368		
Ontario	0—15	1	0,154	—	0,42	2,13
	15—48	2 073	0,166	344		
	>48	1 348	4,38	5 904		
totaux		3 422		6 248		
Québec	15—48	476	0,166	79	0,07	1,76
	>48	224	4,38	981		
totaux		700		1 060		

[1]Calculé à partir des données de MacKay *et al.* (1974)

[2]L'indice pour l'Alberta est arbitrairement fixé à 1,0, base d'un classement relatif.

TABLEAU 7.
Types d'oléoducs dans différentes régions du Canada (1978)

Longueur de l'oléoduc (km) / Région	Lignes de collecte	Canalisation principale	Pipelines de produits
Yukon	—	—	89
Colombie-Britannique	830	1 755	56
Alberta	7 973	8 539	853
Saskatchewan	3 268	3 569	1 341
Manitoba	323	1 389	313
Ontario	1	1 474	1 947
Québec	—	452	248
Totaux	12 395	17 178	4 847

Source: CPA, 1979.

L'impact des déversements d'hydrocarbures des pipelines sur l'utilisation des terres semble pratiquement aussi grand ou plus grand en Ontario qu'en Alberta (tableau 9). Ceci était prévisible, car l'Alberta est la principale province productrice de pétrole du Canada et l'Ontario la principale consommatrice. La valeur des terres a un effet marqué sur l'indice de l'impact et compense certaines des différences provenant des quantités de pétrole. Par exemple, en Alberta, un grand nombre de pipelines traversent des régions dont la valeur agricole ou forestière commerciale est très limitée et dont le potentiel récréatif est faible. En Ontario, la plupart des pipelines sont situés dans la partie productive de cette province. Étant donné la grande valeur des terres dans les régions traversées par les pipelines, en Colombie-Britannique, les déversements d'hydrocarbures malgré leur faible quantité, ont un impact égal à la moitié de celui de l'Alberta et de l'Ontario.

À l'échelon régional les déversements d'hydrocarbures suscitent un intérêt qui est probablement plus étroitement associé au nombre des déversements qu'à leur volume. Par conséquent, l'Alberta est probablement plus sensible à ce problème même si l'impact réel total des déversements dans cette province peut ne pas être plus grand qu'en Ontario. L'impact des déversements d'hydrocarbures au Canada par rapport à d'autres causes de perturbations comme les incendies de forêts, l'exploitation de mines à ciel ouvert, le développement urbain, etc. est difficile à évaluer, mais la zone touchée est inférieure à 1 000 ha. Les répercussions des déversements d'eau salée provenant des puits de pétrole sont plus sérieuses et durent plus longtemps. Le volume d'eau salée produit augmente à mesure que les champs pétrolifères s'épuisent.

NATURE DES CONTRAINTES EXERCÉES SUR LES TERRES

Introduction

Les contraintes exercées sur les terres par les déversements d'hydrocarbures de différents types peuvent être classées selon le degré de danger, qui est fonction de l'activité humaine dans la production, le raffinage, le transport et l'entreposage du pétrole ainsi que de la vulnérabilité d'une région géographique (Pettigrew, 1975). La vulnérabilité d'une région donnée aux déversements d'hydrocarbures à terre (par opposition aux déversements marins) est mesurée par deux composants: premièrement, les modifications qui se produisent dans le sol à la suite de l'addition d'hydrocarbure ainsi que les répercussions concomitantes qui en résultent sur la végétation; deuxièmement, les répercussions

TABLEAU 8.
Indices de la valeur des terres pour les trois principales utilisations des terres au Canada, dans les régions sillonnées par les principaux pipelines

Région	Loisirs*	Foresterie	Agriculture	Total
Yukon	9,5	1,0	1,5	12,0
Colombie-Britannique	10,2	3,8	4,6	18,6
Alberta	7,3	1,6	0,8	9,7
Saskatchewan	4,0	0,0	0,5	4,5
Manitoba	5,3	0,0	0,6	5,9
Ontario	11,8	5,0	6,0	22,8
Québec	9,5	4,0	4,0	17,5

*L'indice pour les loisirs est l'indice moyen pondéré de l'attrait du paysage pour les loisirs de plein air (Simpson-Lewis *et al.*, 1979, p. 74) pour certaines régions de chaque province traversées par d'importants pipelines. Pour la foresterie, l'indice a été calculé de façon semblable en classant les différents types de forêts sur une échelle comprise entre 1 et 10 extraite de la p. 163 de Simpson-Lewis *et al.* (1979). Pour l'agriculture, l'indice est basé sur la valeur totale des immobilisations des exploitations agricoles recensées (Simpson-Lewis *et al.*, 1979, p. 25).

TABLEAU 9.
Importance relative prévue des impacts des déversements d'hydrocarbures de pipelines sur l'utilisation des terres au Canada

Région	A Facteur de risque de la région	B Indice de gravité du type de pipeline	C Indice de la valeur des terres	Indice du risque d'impact sur l'utilisation des terres
Yukon	0,0103	2,0	12,0	0,25 (0,003)
Colombie-Britannique	1,59	1,33	18,6	39,3 (0,51)
Alberta	5,22	1,51	9,7	76,5 (1,0)
Saskatchewan	3,49	1,56	4,5	24,5 (0,32)
Manitoba	1,38	1,31	5,9	10,7 (0,14)
Ontario	2,39	1,57	22,8	85,6 (1,1)
Québec	0,493	1,35	17,5	11,6 (0,15)

$A = 53{,}5\ [(\text{Risque en volume})(0{,}152)]^{0{,}89 \times 10^{-4}}$

$B = \dfrac{\Sigma(\text{Facteur du type de pipeline})(\text{Longueur du pipeline})}{\Sigma\text{Longueur du pipeline}}$

Impact sur l'utilisation des terres = $A \times B \times C$

Facteur du type de pipeline: canalisation principale = 1
ligne de collecte = ligne de produits = 2
(voir Tableau 7).

Les chiffres entre parenthèses ( ) indiquent l'impact relatif par rapport à l'indice de l'Alberta fixé arbitrairement à 1,0.

sur l'utilisation des terres. Ainsi, le composant vulnérabilité doit d'abord être évalué en fonction des répercussions sur les processus pédologiques et sur la végétation qui se produisent à l'emplacement du déversement. La nature des contraintes exercées ainsi que leur impact sur l'utilisation, la valeur et la capacité des terres peuvent ensuite être étudiés.

Les contraintes exercées par les déversements d'hydrocarbures peuvent être définies en fonction des répercussions qui en résultent sur la valeur des terres et leur potentiel en matière d'agriculture, de foresterie, de faune et de loisirs. Comme les déversements d'hydrocarbures à terre se produisent généralement en dehors de l'environnement urbain, les agglomérations humaines ne sont guère touchées par ces déversements en ce qui concerne la modification de la capacité des ressources en terres. Les déversements d'hydrocarbures ont habituellement des répercussions nuisibles sur les ressources en terres, particulièrement lorsqu'ils sont évalués d'après leurs effets à court terme. Toutefois, certaines répercussions bénéfiques à long terme ont été observées en certains cas. Des déversements d'hydrocarbures sur des terres agricoles et forestières peuvent diminuer ou éliminer leur capacité de culture d'une espèce donnée, pendant une période allant de plusieurs mois à des décennies après le déversement si des méthodes appropriées de remise en état ne sont pas appliquées. Cependant, grâce à des techniques de remise en état appropriées, le déversement d'hydrocarbure perturbant l'utilisation des terres agricoles ou boisées peut épargner la possibilité de ces terres à long terme. Sur des terres utilisées pour la faune et les loisirs, un déversement peut détruire l'habitat et enlaidir le milieu en noircissant la surface du sol et en détériorant le sous-étage. Ces emplacements sont fréquemment brûlés et les restes calcinés des arbres ainsi que la croûte goudronneuse noire subsistant à la surface offrent une vue répugnante et excluent toute possibilité d'utilisation récréative. Il arrive, mais assez rarement, que des oiseaux s'engluent dans les résidus huileux subsistant après la combustion. Ainsi, en de nombreuses régions récréatives, les déversements d'hydrocarbures combinent leurs pires caractéristiques à celles des petits incendies dévastateurs de forêts. Certains effets visuels sont amplifiés par l'emploi de l'équipement lourd destiné à contenir et récupérer les hydrocarbures déversés.

Pour la plupart des déversements perturbant l'utilisation des terres agricoles, boisées, fauniques ou récréatives, la vitesse et l'ampleur (dans le cas des déversements massifs) des processus naturels de restauration sont inacceptables; il faut donc avoir recours à l'intervention de l'homme, particulièrement lorsque la valeur de la terre est élevée. Une évaluation des répercussions des déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation, la valeur et la capacité de la terre laisse normalement supposer que des mesures correctrices seront entreprises, et, pour cette raison, elle est basée en partie sur une évaluation des possibilités de remise en état, des méthodes à utiliser et de l'efficacité de ces dernières.

Nettoyage et remise en état

Les répercussions des déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation des terres sont fortement liées aux deux considérations suivantes: premièrement, les opérations de nettoyage entreprises après le déversement et, deuxièmement, les politiques de remise en état ou d'indemnisation. En

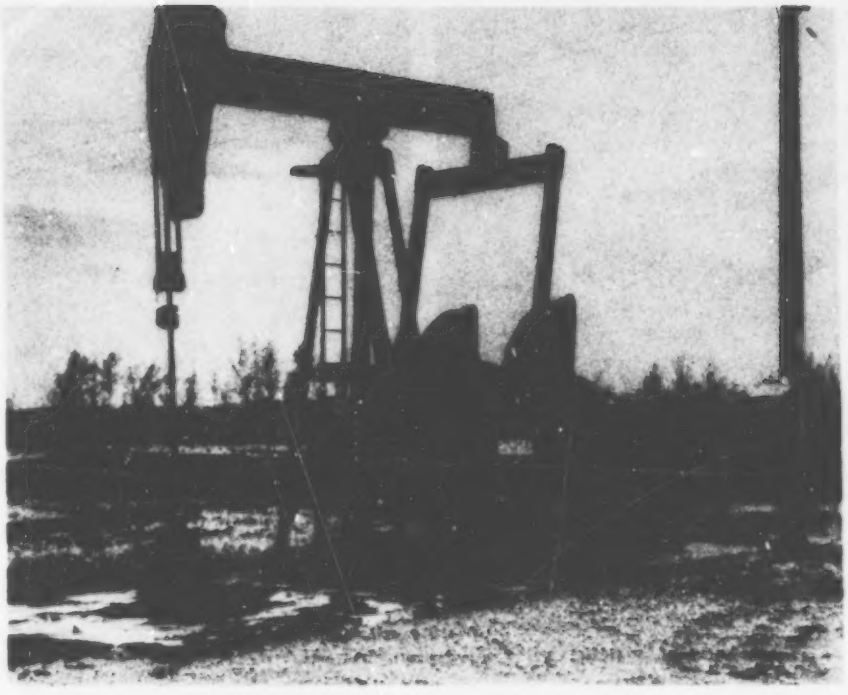


Photo 3. Les déversements de pétrole peuvent également être causés par des problèmes à la tête des puits (fuites de vanne, bris de presse-étoupe, etc.). Ces déversements aspergent souvent de vastes superficies, mais n'ont que des effets mineurs sur les terres consacrées à des cultures annuelles. Les arrosages des conifères par du pétrole sont habituellement létaux pour ceux-ci, mais, leurs effets sur les feuillus sont moins graves. Il est évident qu'une récolte arrosée est une récolte perdue mais, ordinairement, les récoltes suivantes ne sont pas affectées. Les effets des pompes elles-mêmes lorsqu'elles sont placées dans des sections de champs, sont plus graves que ceux du pétrole qu'elles déversent.
W.B. McGill

plusieurs cas, de graves dommages relevés sur les lieux des déversements ont résulté de l'utilisation excessive d'un équipement lourd, des opérations de combustion et d'endiguement pendant le nettoyage du site de déversement (série de photos n° 4). Une intervention moins draconienne aurait permis d'éviter certains de ces dommages.

Un deuxième déversement ayant à peu près le même volume, identique à celui de la photo dans la séquence 4 s'est produit au cours de l'hiver de 1975, à quelques mètres seulement à l'est d'un premier. L'expérience tirée du premier déversement a été mise à profit. Aucun ouvrage d'endiguement n'a été construit, mais des fossés ont été creusés pour recueillir le pétrole. La combustion du pétrole s'est effectuée uniquement dans ces fossés. Le pétrole n'a par conséquent pas été enterré et mélangé au sol d'où il aurait suinté ultérieurement et le drainage n'a pas été entravé par des digues inutiles. Le système de brûlage utilisé a éliminé le pétrole et ses éléments toxiques légers. Les répercussions des dommages dus à l'incendie étaient circonscrites à de petites zones étroites de fossés. Ce système de combustion a également contribué à éliminer le pétrole d'en dessous de la surface. Vu que le nettoyage était fait en hiver au lieu d'attendre jusqu'au printemps ou en été, l'accès au site ne présentait aucun problème et les perturbations de la surface du sol étaient négligeables par comparaison avec celles du premier déversement à seulement quelques mètres de là. Cette zone a été labourée à l'aide d'une charrue à disques, fertilisée et réensemencée et, dès 1976, a produit une bonne culture de plantes fourragères. Même les endroits qui n'avaient pas été ensemencés avaient été envahis par des plantes indigènes dès juillet 1975. Ainsi, dans le premier cas l'impact avait duré près de 10 ans et, dans le deuxième, environ un an.

Avant les années 1970, la restauration du site de déversement était rarement tentée par les responsables; les propriétaires des terres se contentaient d'une indemnisation fixée par une entente avec les pollueurs. L'utilisation des terres était parfois modifiée, et les terres de culture devenaient alors des pacages. En certains cas où les cultures étaient maintenues, la surface du sol devenait imperméable et ce phénomène, accompagné de la persistance du pétrole dans les sous-horizons, réduisait la productivité à zéro.

Les effets de ces déversements ont persisté pendant vingt ans en certains endroits. On a attribué à de petits déversements de pétrole brut à la surface du sol certaines améliorations de la productivité des sols lorsque s'est poursuivie la même utilisation de la terre, par exemple la culture par labourage.

Au cours des années 1970, les demandes d'indemnisation augmentèrent brusquement. Par exemple, certaines demandes supérieures à 10 000 $ ont été faites en Alberta pour environ 2 ha de terrains bas, non cultivés et mal drainés, sur lesquels le fourrage naturel était coupé. Par ailleurs, les méthodes de restauration se sont améliorées. Les propriétaires fonciers préfèrent actuellement une remise en état complète à une indemnisation monétaire, pour les deux raisons suivantes: premièrement ils reconnaissent le fait que, même si les sites des déversements d'hydrocarbures peuvent se restaurer progressivement en «laissant faire la nature», la période nécessaire à cette fin n'est jamais facile à estimer; deuxièmement, il existe maintenant une stratégie hautement technique pour réaliser une restauration appropriée sans causer de problèmes secondaires comme la pollution par les sels des engrais ajoutés ou la toxicité résultant des produits de dégradation.

Maintenant, les spécialistes de la restauration des sols agricoles et de nombreux sols forestiers contaminés par les déversements d'hydrocarbures nécessitent d'équilibrer l'apport des substances nutritives aux micro-organismes du sol qui décomposent le pétrole. De plus, chaque emplacement doit être traité en particulier et un programme approprié de restauration est habituellement élaboré par un agronome spécialisé en pédologie. Les propriétaires fonciers ont décidé de laisser à la partie responsable des déversements la charge de financer le programme de restauration.

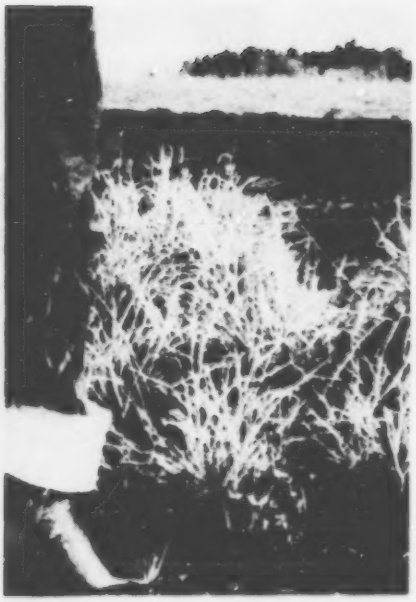
Le perfectionnement des méthodes de restauration a évité de nombreuses modifications de l'utilisation ou de la capacité des terres, après des déversements d'hydrocarbures dans les régions agricoles. En raison de sa faible superficie et de son profond impact sur la beauté des lieux, le sol contaminé, dans les régions urbaines et récréatives, est habituellement retourné et remis en place pour éviter de modifier l'utilisation, la valeur ou la capacité de la terre. La question de savoir si les déversements d'hydrocarbures à terre, dans l'Arctique, doivent être nettoyés ou non, fait toujours l'objet d'un débat. D'aucuns ont laissé entendre que leur impact sur l'écosystème terrestre est si faible et que les coûts du nettoyage sont si élevés que ce dernier constitue un gaspillage d'efforts et d'argent.

Impacts biophysiques

Pour définir les impacts physiques des déversements d'hydrocarbures à terre, il est nécessaire

4-A

4-B



4-C

Série de photos 4.

La méthode utilisée pour le nettoyage initial détermine considérablement la persistance des impacts des déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation des terres. Cet emplacement (4-A) représente une rupture de pipeline dans un pâturage naturel, situé dans une région plate, basse, et mal drainée. L'emplacement a été entouré de digues et de fossés. Les digues étaient destinées à empêcher le pétrole de migrer hors du site, mais leur principal effet a été d'empêcher le drainage et d'accroître l'humidité du site. La plupart des arbres ont été détruits et la surface du site a été profondément perturbée. Des flaques de pétrole qui avait été enfoui pendant le «nettoyage» apparaissaient sans cesse à la surface (4-B) et constituaient un problème majeur pour l'élimination du pétrole et la restauration du site. Les oiseaux se posant dans ces flaques s'engluaient de pétrole et mouraient. Le nombre de ces flaques était heureusement restreint. Le déversement s'est produit en novembre 1972 alors qu'environ 6 000 barils de pétrole se sont échappés d'un pipeline corrodé. La surface contaminée était légèrement inférieure à 2 ha. La pose d'une canalisation sous la digue destinée à améliorer le drainage permettrait aux parties élevées du terrain de se doter d'une couverture végétale, à condition d'être labourées pour briser la croûte produite par le brûlage, puis fertilisées et ensemencées. La croissance des végétaux dans la zone recouverte d'une croûte peut être importante si cette croûte est d'abord brisée pour permettre aux plantes de passer (4-C). Ce site a, depuis, été correctement drainé et, maintenant sa restauration est pratiquement terminée (dix ans après le déversement initial).

4-A M. Nyborg, Université de l'Alberta
4-B D.R. Shaw, Energy Resources Conservation Board of Alberta
4-C W.B. McGill

de considérer la nature du produit déversé. Tous les types et qualités d'hydrocarbures sont déversés au Canada, depuis le carburéacteur à indice élevé d'octane jusqu'au fuel de soute C; les déversements de pétrole brut et de carburant diesel sont les plus importants en volume (Pettigrew, 1975). Quelques observations générales sur les effets de la nature du pétrole sont données ci-après. On trouvera des détails dans les références citées à l'intérieur de cette section.

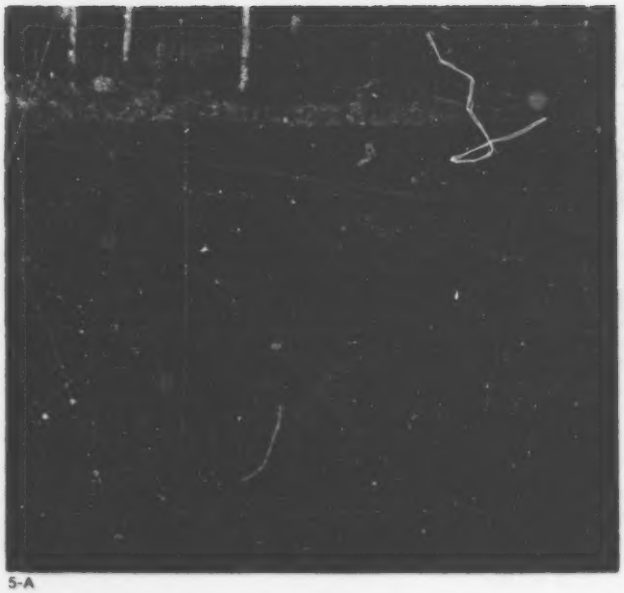
Bien que l'absence de plantes vivantes constitue fréquemment le symptôme le plus évident d'un déversement de pétrole, le principal problème est la présence réelle du pétrole — et non pas simplement l'absence de plantes. Au cours de nombreux déversements, une quantité disproportionnée d'énergie, d'argent et d'efforts a été gaspillée en essayant de rétablir la croissance des plantes avant d'avoir suffisamment réduit la quantité de pétrole sur le site contaminé. En conséquence, tout le processus de restauration doit être repris depuis le début (séries de photos 4 et 5). Comme dans de nombreuses situations, le symptôme est souvent traité alors que le vrai problème n'est pas résolu. De nombreux autres symptômes, constituant eux-mêmes de sérieux problèmes, ont également été déterminés (figure 6). Si toute la matière déversée est récupérée, aucun problème résiduel ne subsistera.

Nature du pétrole

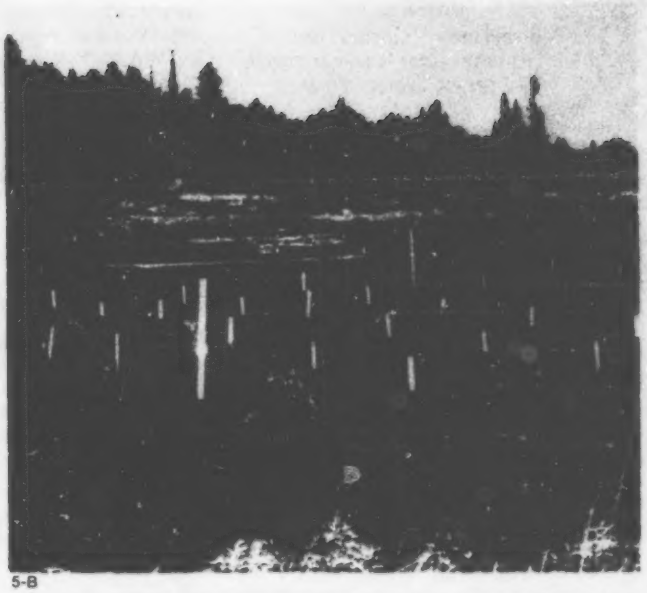
Le pétrole en contact avec les plantes est nuisible dans presque toutes les situations et létal dans un grand nombre de cas. Les fractions les plus toxiques du pétrole brut ou raffiné sont les petites molécules; elles sont plus mobiles et souvent plus solubles que certaines des grosses molécules. Comme la plupart des hydrocarbures déversés sont constitués d'un ensemble de molécules allant de molécules très petites et volatiles à de grosses molécules à haut point d'ébullition, la toxicité d'un déversement d'hydrocarbures pour les plantes et les animaux peut être comprise entre «aiguë» et «mineure». Généralement, les matières présentes dans les produits raffinés sont plus toxiques que celles des pétroles bruts. Cependant les pétroles bruts synthétiques peuvent également être très toxiques (McGill *et al.*, 1981). Immédiatement après un déversement de pétrole brut, certaines matières contenant du soufre telles que le sulfure d'hydrogène et les mercaptans[1] (voir glossaire) peuvent causer de graves problèmes chez l'homme; dans certains cas, de vastes régions ont dû être évacuées. Toutefois, les répercussions de ce type sont temporaires.

Les pétroles très lourds sont produits dans certaines parties de la Saskatchewan et de l'Alberta, près de Lloydminster. Ces pétroles bruts sont moins difficiles à nettoyer et, par conséquent, ont un impact moindre que les pétroles légers plus volatiles sur l'utilisation des terres. Les huiles de vidange provenant de ces pétroles lourds ont déjà été évacuées dans des puits parce que l'on supposait qu'elles ne se déplaceraient jamais. En fait, elles se déplacent lentement et, en certains cas, elles ont migré latéralement avant de sourdre à la surface des pentes qu'elles dévalent en recouvrant complètement la zone d'une couverture goudronneuse visqueuse. Heureusement, les surfaces ainsi contaminées sont rarement supérieures à 2 ha.

Le degré d'impact des déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation des terres dépend en

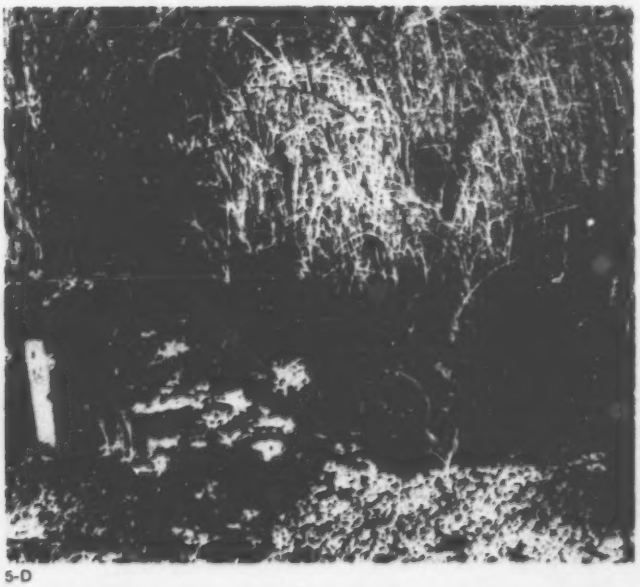


5-A



5-B

5-C



5-D

Série de photos 5.

Les déversements d'hydrocarbures causent de graves problèmes permanents si les informations concernant leur traitement approprié en fonction d'un site donné ne sont pas utilisées pour résoudre le problème. Par exemple, la photographie 5-A montre un site sur lequel une quantité de pétrole estimée à 29 000 barils avait été déversée, dont 27 600 barils environ avaient été récupérés. Il doit y avoir eu une erreur soit dans l'estimation du volume déversé, soit dans celle du volume récupéré parce que le sol contenait encore une grande quantité de pétrole 4 ans après le déversement. La zone polluée avait initialement une superficie comprise entre 3 et 4 ha, mais cette surface s'est agrandie jusqu'à 11,5 ha pendant le nettoyage. Le site a été brûlé pour éliminer complètement le pétrole, mais cette opération a laissé une croûte qui empêchait les plantes de croître. Du sable fut ajouté à la terre qui fut ensuite ensemencée en phléole des prés. Le pétrole subsistant dans le sol est monté, toutefois, avec la nappe phréatique et la restauration de la végétation a été un échec (5-A). Un deuxième programme, commencé 5 ans après le déversement, comprenait le drainage pour intercepter et éliminer le pétrole de la sous-surface, l'addition de tourbe comme diluant, le labourage, la fertilisation, le réensemencement et l'utilisation de touffes de plantes indigènes de la région pour amorcer la recolonisation (5-B). Ce programme a donné de bons résultats; quatre mois après, les zones réensemencées (au premier plan de la photographie 5-C) étaient saines et les touffes transplantées couvraient une vaste surface (arrière-plan de la photographie 5-C). Dans les zones où la tourbe n'avait pas été bien mélangée avec le sable antérieurement contaminé, la restauration de la végétation était nulle; la végétation a été restaurée dans les zones où des amendements appropriés de tourbe ont été effectués. On peut voir à la Fig. 5-D, la croûte laissée par le brûlage et la propagation des carex dans les fissures de la croûte. Le site est actuellement restauré et utilisé comme pâturage (10 ans après le déversement initial et 5 ans après le commencement du deuxième programme de restauration). Antérieurement, il n'avait pas été utilisé par ses propriétaires exploitants agricoles qui n'avaient pas défriché le site.

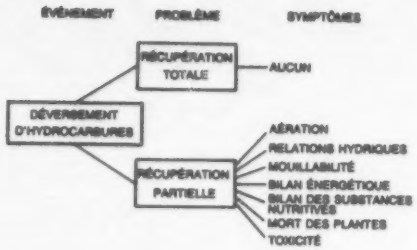
5-A W.B. McGill

5-B M.J. Rowell, Norwest Soil Research Limited

5-C M.J. Rowell, Norwest Soil Research Limited

5-D M.J. Rowell, Norwest Soil Research Limited

FIGURE 6.
Représentation graphique des problèmes causés par la contamination du sol par les hydrocarbures



partie de la durée du pétrole dans le sol. Les étapes finales de l'élimination des hydrocarbures du sol sont habituellement de nature biologique; de ce fait, les facteurs qui influent sur l'activité biologique dans le sol influent également sur l'impact de nombreux déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation des terres. La composition des hydrocarbures déversés influence également leur dégradabilité, et par conséquent, leur élimination biologique *in situ* par les micro-organismes du sol. Il existe quatre classes d'hydrocarbures qui constituent les principaux composants du pétrole brut; ce sont les alcanes (paraffines)[3], les cycloalcanes (naphtènes)[3] et les composés aromatiques[4] et asphaltiques[5]. La fraction de n-paraffine saturée à chaîne linéaire est le composant le plus facilement dégradable; elle est suivie par les fractions naphténiques et aromatiques; les composants asphaltiques lourds se dégradent beaucoup plus lentement (Cook et Westlake, 1973; Parkinson, 1973). Comme la décomposition des hydrocarbures dans le sol se produit à l'interface hydrocarbure-eau, leur solubilité dans l'eau ou leur tendance à former des émulsions peut influer considérablement sur la vitesse de leur décomposition et par conséquent déterminer leur impact sur l'utilisation des terres. Les hydrocarbures les plus rapidement dégradés, les saturés, tendent à se situer dans le milieu de la plage des solubilités. Les hydrocarbures les plus solubles ont, toutefois, également tendance à être les plus toxiques.

Dans des conditions optimales, la décomposition des hydrocarbures dans le sol est généralement liée à l'équilibre existant entre les cinq groupes suivants de propriétés des matières: 1) surface ou importance de l'interface hydrocarbure-eau; 2) solubilité; 3) toxicité; 4) structure, dans la mesure où elle est liée à la complexité du processus de décomposition et 5) ressources obtenues des matières et ressources additionnelles nécessaires pour maximiser leur utilisation (McGill, 1981).

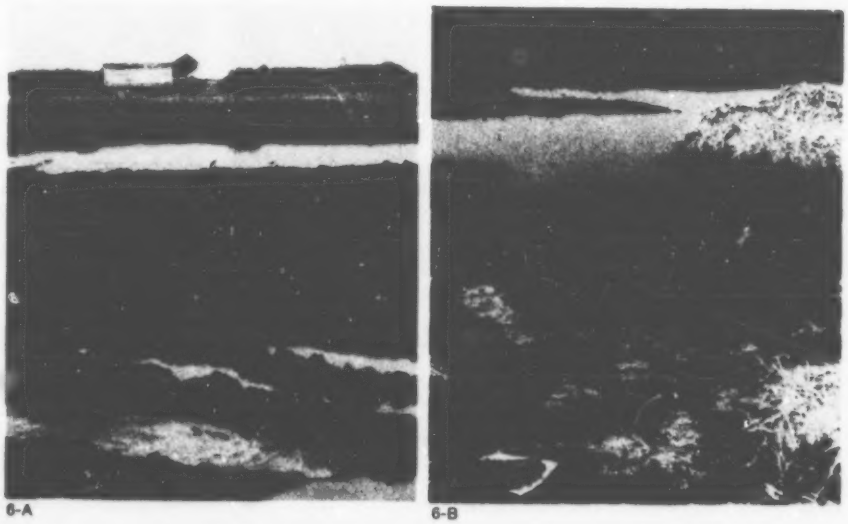
Dans les sols normaux, les conditions sont rarement optimales, de sorte que la décomposition de l'hydrocarbure et son impact ultérieur sur l'utilisation des terres sont habituellement plus en fonction du sol et de son environnement que de sa nature chimique. Par exemple, la biodégradation peut être accélérée d'un ordre de grandeur par des additions d'engrais (Cook et Westlake, 1973; Rowell, 1975; McGill, Rowell et Westlake, 1981).

Impacts physico-chimiques

Le composant biophysique des contraintes exercées sur les ressources en terres par les déversements d'hydrocarbures peut être défini en fonction de ses répercussions physiques, chimiques ou biologiques sur le sol et de ses effets directs sur la faune et la végétation.

Les répercussions sur le sol sont exprimées par leur influence sur la production des plantes à l'emplacement du déversement et sur la migration des hydrocarbures solubles jusqu'à l'eau souterraine; ce sont des facteurs déterminants de l'impact ultérieur sur l'utilisation, la valeur et la capacité des terres. La documentation traitant de l'évolution des hydrocarbures dans le sol et de leurs répercussions sur les propriétés du sol a été analysée par Ellis et Adams (1961), Rowell (1977) et McGill, Rowell et Westlake (1981) et les répercussions des hydrocarbures sur les plantes ont été étudiées par Baker (1970).

Les déversements d'hydrocarbures rendent les sols minéraux hydrophobes ou non mouillables. L'eau a par conséquent tendance à s'écouler plutôt qu'à imprégner le sol, augmentant ainsi le danger d'érosion, ce qui, à la longue, réduit la capacité à long terme des terres. De plus, s'il est situé sur une pente bien drainée, le sol devient très sec. Les terres basses qui reçoivent les eaux superficielles des régions avoisinantes présentent le problème inverse; l'eau remplit les macropores entre les agrégats du sol, mais ne pénètre pas facilement ces derniers. Le volume réel des pores est réduit, et si la nappe phréatique est haute, l'air est chassé des macropores, il devient presque impossible de nettoyer ou de cultiver l'emplacement et des conditions anaérobies se développent rapidement (McGill, 1975*b*). Les photographies de la série 6 montrent une situation de ce type; toutes les cultures de la région touchée ont dû être abandonnées jusqu'à ce que le régime hygrométrique ait été rétabli. Les photographies de la série 7, par contre, montrent les conséquences d'un deuxième déversement qui s'était produit à la même épo-



6-A 6-B

Série de photos 6.

Les ruptures de pipelines constituent une cause commune de déversements d'hydrocarbures sur les terres agricoles. L'époque de l'année à laquelle le bris se produit, est un facteur important dans la détermination de l'impact d'un déversement sur l'utilisation de la terre, tout comme la nature du système sol-plante sur lequel le déversement se produit. Cette photo montre le site d'un déversement dans un champ agricole après un déversement hivernal. Le pétrole a été physiquement nettoyé et le site apiani. Toutefois, la pénétration du pétrole dans le sol était possible parce que ce dernier était de nature poreuse et que le site avait été perturbé physiquement pendant le nettoyage. Les efforts déployés pour restaurer le site (6-A) ont été par conséquent entravés et inefficaces parce que, dans le sol, le pétrole interférait avec la circulation de l'eau, ce qui le rendait trop humide pour qu'on puisse s'y déplacer. Cette condition d'humidité persista tout l'été (6-B) et, par la suite, pendant 2 ans. L'emplacement de ce déversement a été progressivement restauré au cours d'une période comprise entre 5 et 7 ans.
6-A W.S. McGill
6-B W.S. McGill

7-A 7-B 7-C

Série de photos 7.

Sur les pâturages, les déversements causent des problèmes moins graves que sur les terres de cultures parce que le pétrole a tendance à moins pénétrer dans le sol. Le site du déversement de cette série de photographies est situé à environ 50 km de celui des photographies de la série 6. Il provenait du même pipeline et avait eu lieu à la même époque de l'année, en hiver. À la fonte de la neige, des flaques d'eau sont restées sur le sol (7-A) et ont été rapidement drainées. Le pétrole ne pénétrait que jusqu'à 2-3 cm de profondeur dans la plupart des endroits; cette profondeur atteignait parfois 20 cm. En juin, la surface de la majeure partie du site avait été drainée, fertilisée et réensemencée et, en général, la végétation recommençait à pousser. La restauration de la végétation de quelques-unes des zones les plus humides et de la zone située immédiatement au-dessus de la rupture (7-C) n'était pas encore amorcée (7-B), mais la plus grande partie du site (90 %) était couverte d'une vigoureuse couverture herbeuse.

7-A W.B. McGill
7-B W.B. McGill
7-C W.B. McGill

que que celui de la série 6; la matière déversée reposait sur un système sol-plantes totalement différent, ce qui entraîne également des répercussions entièrement différentes.

L'eau retenue dans le sol après la formation de la croûte provoque un engorgement qui modifie l'aération (conséquence des techniques de nettoyage comme la combustion) lorsque l'air dans les pores du sol est déplacé par l'eau et les hydrocarbures. La diminution des échanges gazeux avec l'atmosphère et un taux élevé de consommation potentielle de l'oxygène provoquent la création des conditions anaérobies si souvent associées aux déversements d'hydrocarbures à terre. Un autre phénomène physique se produisant avec les déversements est le lessivage des composants du pétrole ou des produits de dégradation dans le sol qui, en certains cas, atteignent la nappe phréatique et contaminent l'eau souterraine. Bien que Toogood (1977) ait conclu, à la suite d'une étude préliminaire de l'eau souterraine, qu'il y avait peu de mouvement latéral ou vertical du pétrole dans les sous-horizons au cours d'un déversement expérimental sur un chernozem cultivé, Duffy, Peake et Mohtadi (1975) ont établi que les composants solubles dans l'eau du pétrole brut sont très persistants et peuvent constituer à long terme de sérieuses menaces environnementales pour l'eau souterraine. Le mouvement descendant du pétrole dans le sol dépend de différents facteurs comme la teneur en humidité, la profondeur jusqu'à la nappe phréatique, la nature de l'hydrocarbure et la perméabilité, laquelle est déterminée par la teneur en matière organique et la texture du sol. Par exemple, le lessivage peut être un facteur important dans l'élimination du pétrole des sols organiques (McGill *et al.*, 1974). Il est également modifié par la dégradation des hydrocarbures parce qu'une partie des hydrocarbures partiellement dégradés subissent un lessivage plus rapide que les hydrocarbures initiaux. Le régime thermique des sols est altéré par les déversements: l'albedo et l'évapotranspiration diminuent alors que le rayonnement infrarouge par les hydrocarbures à la surface du sol augmente ainsi que le déplacement de la chaleur vers le bas (Hutchinson et Freedman, 1975).

Les répercussions chimiques des déversements d'hydrocarbures sur le sol sont étroitement liées aux phénomènes physiques et microbiologiques. La diminution des échanges gazeux, la production microbienne de gaz carbonique et la consommation d'oxygène pendant la croissance des plantes sur le carbone des hydrocarbures favorisent tous la création de conditions anaérobies. Dans ces conditions, la solubilité du manganèse et du fer peut augmenter et avoir des effets toxiques sur la croissance des plantes. De plus, la réduction microbienne du soufre peut avoir pour résultat l'accumulation de sulfures toxiques. À long terme, les modifications liées aux déversements d'hydrocarbures consistent notamment en la transformation des composants résiduaires des hydrocarbures en fractions plus stables de matière organique du sol, ce qui peut avoir ultérieurement des répercussions avantageuses sur la fertilité et la structure du sol.

Impacts biologiques

Les modifications microbiologiques résultant des déversements d'hydrocarbures comprennent des répercussions initiales létales sur certains micro-organismes, suivies par l'augmentation de la respiration du sol et du nombre des bactéries qui utilisent les hydrocarbures comme substrat pour leur croissance. Bien que la diversité des espèces d'organismes du sol diminue, le nombre total de ces organismes augmente. La croissance microbienne sur les hydrocarbures provoque souvent des carences de substances nutritives pour les plantes parce que les éléments nutritifs inorganiques comme l'azote et le phosphore sont temporairement convertis en biomasse microbienne et ne sont plus disponibles pour les plantes jusqu'à ce qu'ils soient recyclés.

Les effets directs ou herbicides des hydrocarbures déversés sur la végétation produisent différents résultats qui vont du jaunissement et du desséchement des feuilles mazoutées à la mort et à l'élimination complète temporaire de la végétation à l'emplacement du déversement. L'action herbicide produit des phénomènes comme l'endommagement des membranes des cellules et l'écoulement subséquent de leur contenu, la diminution du taux de transpiration et de la photosynthèse et des modifications de la respiration (Baker, 1970). À l'emplacement du

déversement, la restauration de la végétation est également entravée parce que les hydrocarbures retardent ou empêchent la germination des graines. Le pétrole semble avoir un effet plus nocif sur les parties photosynthétiques des plantes que sur leurs racines ou leur écorce. Il se peut que les racines soient partiellement protégées par le fait que les particules du sol adsorbent le pétrole. Les hydrocarbures pulvérisés s'échappant des perforations des pipelines semblent être plus nocifs pour les conifères que pour les feuillus. En outre, bien que les hydrocarbures pulvérisés et répandus sur les plantes comme les graminées, puissent tuer leur partie aérienne, leurs racines sont rarement détruites. Toutefois, lorsque le sol est saturé de pétrole les racines meurent.

La gravité des dommages causés à la végétation dépend des constituants et de la quantité des hydrocarbures déversés, des espèces de plantes en cause et des conditions environnementales (Baker, 1970). Il faut souligner que les effets herbicides des hydrocarbures ne constituent qu'un aspect des dommages à la végétation; d'autres répercussions environnementales se produisent en même temps. Comme nous l'avons déjà indiqué, la mort de la végétation à l'emplacement du déversement n'est qu'un symptôme qui ne doit pas être traité comme s'il était le vrai problème (McGill, 1975*b*) lequel est en fait la persistance des hydrocarbures dans le système (figure 6). Bien que les effets toxiques d'un déversement d'hydrocarbures comportent un large éventail de phénomènes touchant l'ensemble des espèces, seules quelques espèces soumises à des phénomènes particuliers repousseront naturellement, mais la diversité de l'ensemble sera diminuée et l'écosystème modifié. Ces répercussions sur la végétation peuvent ne durer qu'une saison dans le cas de légères aspersions, ou jusqu'à plusieurs décennies si un système forestier entier a été détruit. Les répercussions à long terme de ce type sont semblables à celles des incendies de forêt, à savoir que la succession doit recommencer par un tout premier stade, et se composer généralement de plantes annuelles et de graminées.

La répercussion la plus importante des déversements de pétrole sur la faune est la perte d'habitat. Bien que les hydrocarbures soient toxiques pour les animaux dans certaines conditions, la grande mobilité de ces derniers par rapport à la lenteur du déplacement des hydrocarbures permet à la plupart des vertébrés de s'échapper. Les invertébrés sont soumis à un contact plus direct avec les hydrocarbures et subissent de plus grands dommages, mais ils réoccupent habituellement la région en cause après l'élimination des hydrocarbures (McGill, Rowell, et Westlake, 1981).

La majeure partie de la recherche concernant les répercussions des déversements d'hydrocarbures sur la faune a porté sur des déversements en mer ou en eau douce. Les répercussions des déversements d'hydrocarbures à terre sont différentes parce que, premièrement, ces déversements ont généralement un volume moindre et une superficie de contamination plus réduite et que, deuxièmement, la capacité des animaux d'éviter tout contact avec la matière déversée est plus grande. Shaw (1975) a décrit les effets du pétrole brut sur la faune et signalé la toxicité des hydrocarbures, des mercaptans, du sulfure d'hydrogène et des sels. Il a établi que des animaux susceptibles d'être englués par des hydrocarbures, comme les insectes et leurs larves, les absorbent facilement par le cuticule ou les stigmates et meurent rapidement. Il a été prouvé que des déversements expérimentaux dans l'Arctique ont causé une diminution considérable du nombre des arthropodes du sol (Hutchinson, Hellebust et Telford, 1974). Du pétrole déversé sur une étendue d'eau a un effet marqué sur les poissons et les autres formes de vie aquatique. Certains petits mammifères, comme le castor et le rat musqué, ainsi que la sauvagine, succombent rapidement à une exposition aux hydrocarbures, car leur fourrure ou leurs plumes engluées ne leur assurent plus l'isolation nécessaire (Shaw, 1975). Les gros mammifères qui consomment du pétrole peuvent réduire en partie sa toxicité. L'effet du pétrole brut sur un animal varie; par exemple, une vache peut boire plusieurs litres de pétrole et survivre, malgré quelques troubles de diarrhée pendant un certain temps, alors que si elle en aspire une demi-tasse, elle mourra vraisemblablement d'une certaine forme de pneumonie (Shaw, 1975). Comme nous l'avons indiqué précédemment, les pétroles légers et les produits raffinés sont généralement plus toxiques que le pétrole brut. En plus des troubles causés par la toxicité des hydrocarbures, la faune est soumise à des effets indirects, comme, par exemple, les dommages causés à l'habitat. Toutefois, dans le cas des déversements à terre, ce degré de perturbation est très faible.

ÉVALUATION DE L'IMPACT SUR L'UTILISATION, LA VALEUR ET LE POTENTIEL DES TERRES POUR DES UTILISATIONS DONNÉES

La nature des effets physiques des déversements d'hydrocarbures à terre est principalement déterminée par l'environnement dans lequel le déversement se produit. Trois types généraux d'environnements sont considérés ici: les terres agricoles; les terres forestières, y compris celles affectées aux loisirs et les terres nordiques (toundra et taïga) caractérisées par le pergélisol. Ces trois types généraux d'environnements sont définis en fonction des différentes caractéristiques physiques du site du déversement comme le climat, les sols et la végétation ainsi que l'utilisation des terres.

Impact sur les terres agricoles

Le principal effet d'un déversement d'hydrocarbures dans un environnement agricole, qui comprend des terres arables et des pâturages, est une diminution ou l'élimination de la productivité du site pour les cultures ou le fourrage. Les dommages à la production des plantes peuvent durer entre 1 et 25 ans ou plus, selon la quantité d'hydrocarbures déversés et les méthodes de restauration appliquées. Souvent, les répercussions toxiques sur la végétation résultant de l'action herbicide des hydrocarbures déversés (Baker, 1970) se produisent pendant et immédiatement après le déversement. Les répercussions à long terme sur la végétation résultent habituellement de problèmes du sol comme l'endommagement de sa structure, la diminution de sa mouillabilité et les carences en substances nutritives causées par la compétition entre les micro-organismes et les plantes. Certaines de ces répercussions ainsi que l'influence des espèces cultivées sont illustrées dans les séries de photographies 8 et 9. McGill (1975*a*) a donné une estimation du rapport entre la teneur du sol en hydrocarbures et le degré des dommages causés à la croissance des plantes dans les sols organiques et minéraux (tableau 10).

TABLEAU 10.
Rapport entre la teneur en hydrocarbures et le degré des dommages causés aux sols minéraux et organiques - directives provisoires

Degré du dommage	Pourcentage d'hydrocarbures en poids*	
	Sol minéral	Sol organique
Léger à modéré	0,5-2	4-15
Modéré à important	2,0-5	15-75
Très important	>5	>75

Signification des termes susmentionnés:

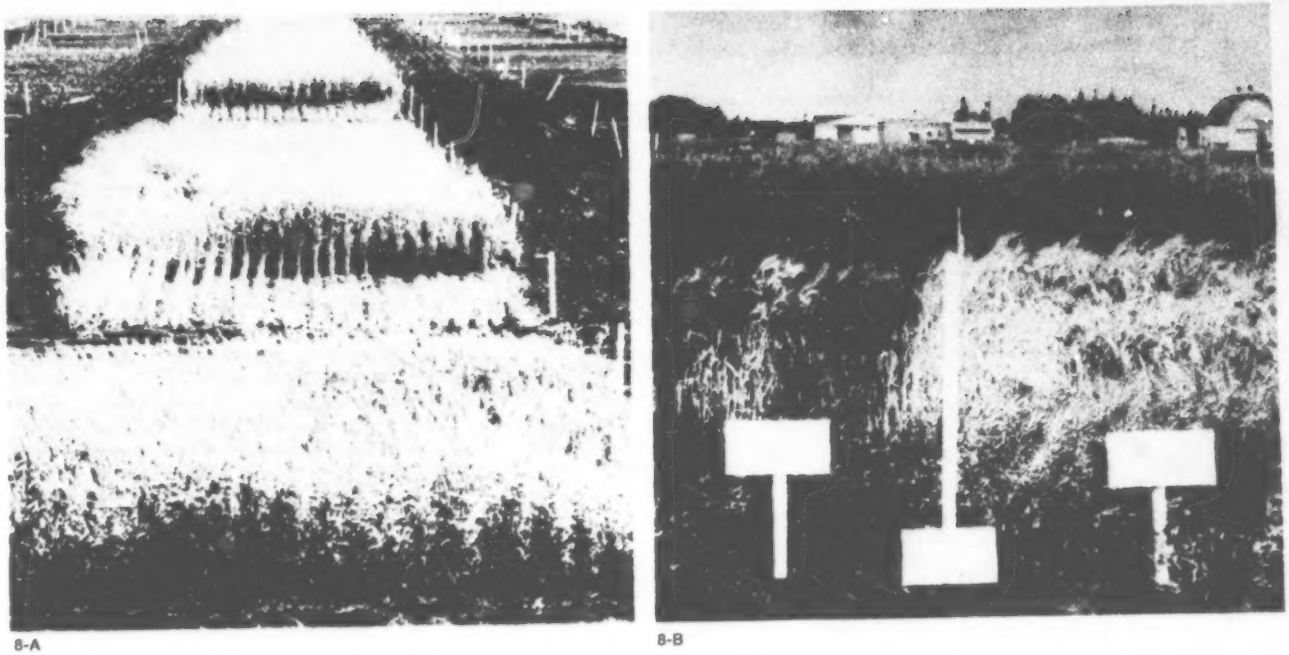
Modéré: Un certain ralentissement dans la croissance des plantes si rien n'est entrepris.

Important: Seules certaines plantes croîtront et une gestion appropriée est nécessaire. Un plus grand nombre de plantes pourront être cultivées si la gestion est très judicieuse.

Très important: Très peu de plantes croîtront et l'ensemencement peut être déconseillé jusqu'à ce que la teneur en hydrocarbures des 10 cm supérieurs du sol ait diminué.

* Les valeurs indiquées varient considérablement si les caractéristiques du sol des deux catégories de sols étudiées sont différentes.

Source: McGill, 1975*a*.



8-A 8-B

Série de photos 8.

Dans les sols agricoles, le pétrole influe sur la production des cultures en modifiant la germination, la croissance et le rendement final. On peut constater l'inhibition de la germination par le pétrole au premier plan par rapport à la germination dans le sol non contaminé par le pétrole à l'arrière-plan. Après germination, le caractère hydrophobe du sol peut tuer la récolte à cause du manque d'eau disponible. Le traitement appliqué pendant la restauration influe sensiblement sur la croissance des plantes. Le lot du milieu de la photographie (8-A) a été mazouté à raison de 14 kg/m², deux ans avant l'ensemencement, mais n'a reçu aucun apport de substances nutritives. Le lot, situé au premier plan, a reçu la même quantité de pétrole, mais des additions de substances nutritives ont été faites pour assurer la croissance microbienne pendant la décomposition du pétrole. De même, sur la photographie 8-B, les deux lots ont reçu la même forte quantité de pétrole (25 kg/m²) trois ans avant l'ensemencement. Le lot de droite a reçu des substances nutritives mais pas le lot de gauche.

8-A W.B. McGill

8-B M. Hyborg, Université de l'Alberta

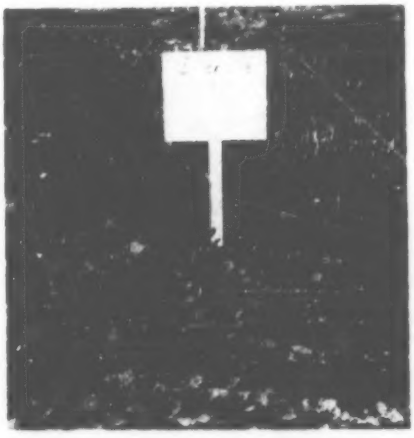


Photo 9.

Le comportement des plantes à l'égard du pétrole dans le sol est variable. C'est pourquoi, les possibilités de cultures peuvent être diminuées par les déversements d'hydrocarbure. Cette photographie montre un terrain, 3 ans après l'addition de pétrole. Le colza (au premier plan) est plus sensible au pétrole que l'orge. Le terrain de gauche a été chaulé et fertilisé, mais pas le terrain de droite.

M. J. Rowell, Norwest Soil Research Limited

L'environnement agricole étudié ici est limité aux sols minéraux; pour les déversements d'hydrocarbures sur les sols organiques (tourbe) affectés aux cultures (autres que les légumes) on peut utiliser les données sur les sols forestiers organiques. Le tableau 11 donne certaines informations sur la tolérance aux hydrocarbures de certaines espèces végétales indigènes et cultivées.

La principale méthode de restauration des terres agricoles repose sur la dégradation microbiologique des hydrocarbures subsistant dans le sol après le nettoyage initial de l'emplacement du déversement. Les tentatives faites pour brûler le pétrole sur le sol sont habituellement inefficaces. La photographie n° 10 montre une partie d'une expérience de brûlage de pétrole sur une terre agricole. Comme l'a mentionné de Jong (1980*a*), les méthodes destinées à accélérer la dégradation biologique des hydrocarbures déversés sont bien comprises et permettent de régénérer en quelques années les terres végétales contaminées. Des applications d'engrais (azote, phosphore, potassium et soufre), le labourage qui favorise l'aération du sol et le chaulage permettant de maintenir un pH neutre ont tous été utilisés pour activer la dégradation biologique (McGill *et al.*, 1974, Rowell, 1975; Toogood et McGill, 1977; de Jong, 1980*a*; et McGill, Rowell et Westlake, 1981). Pendant la dégradation microbienne active des hydrocarbures, l'immobilisation de l'azote et des autres substances nutritives inhibe le développement des cultures. De plus, Toogood et McGill (1977) ont signalé qu'à un stade intermédiaire de régénération, le sol favorise la germination et la croissance prématurée des cultures, mais inhibe la maturation de ces dernières, probablement à cause de l'insuffisance du degré d'humidité. De ce fait, en cas de déversement majeur, la remise en état de l'emplacement doit attendre jusqu'à ce que la plus grande partie des hydrocarbures ait disparu (McGill 1975*b*). Lorsque le taux de décomposition des hydrocarbures diminue, le recyclage des substances nutritives ajoutées précédemment devient important. Par exemple, Toogood et McGill (1977) ont indiqué que, pour des sols ayant reçu un déversement massif d'hydrocarbures et sur lesquels des applications allant jusqu'à 1 420 kg/ha d'azote avaient été faites sur une période de quatre ans, les besoins en engrais étaient moindres la dernière année en raison du recyclage de l'azote ajouté.

TABLEAU 11.
Tolérance de certaines espèces végétales aux hydrocarbures

Nom vulgaire	Nom scientifique	Tolérance relative
Avoine	*Avena sativa*	Forte
Phalaris roseau	*Phalaris arundinacea*	"
Agropyron rampant	*Agropyron riparium*	"
Trèfle hybride	*Trifolium hybridum*	"
Tournesol	*Helianthus annuus*	"
Brome inerme	*Bromus inermis*	"
Linaigrette	*Eriophorum chamissonis*	"
Ményanthe trifolié	*Menyanthes trifoliata*	"
Bident penché	*Bidens cernua*	"
Saule	*Salix* sp.	"
Hart rouge	*Cornus stolonifera*	"
Épinette blanche	*Picea glauca*	Moyenne
Mélèze	*Larix laricina*	"
Trèfle blanc	*Trifolium repense*	"
Fétuque rouge	*Festuca rubra*	"
Orge vulgaire	*Hordeum vulgare*	"
Phléole des prés	*Phleum pratense*	"
Navette	*Brassica campestris*	Faible
Luzerne	*Medicago sativa*	"
Épinette noire	*Picea mariana*	"

Source: McGill, 1976.

La période nécessaire à la dégradation biologique des hydrocarbures dans le sol varie. McGill *et al.* (1974) estimaient que cette décomposition biologique pouvait probablement être réalisée économiquement en une à quatre années. Dans les conditions de sol régnant près d'Edmonton, le pétrole utilisé dans cette expérience semblait avoir une demi-vie (durée nécessaire à la décomposition de la moitié du pétrole) d'environ un an, dans le cas d'une gestion optimale du sol (McGill, 1975*b*). Les taux mensuels de décomposition des résidus d'hydrocarbures dans le sol varient entre 76 kg/ha pour de faibles taux d'application de Gudin et Syratt (1975) et 35 000 kg/ha d'hydrocarbures oxydés pour des taux élevés de déversement d'hydrocarbures et de fertilisation des terres (Francke et Clark, 1974). Calculée d'après la décomposition des hydrocarbures en pourcentage d'hydrocarbures présents dans le sol par unité de temps, la variation du taux de décomposition diminue considérablement parce que la quantité d'hydrocarbures décomposés par unité de temps est fonction de la quantité d'hydrocarbures présents. La plupart des taux sont compris entre 0,1 % et 1 % par jour selon les données résumées par McGill, Rowell et Westlake (1981). Toogood et McGill (1977) ont estimé que la période nécessaire pour la régénération des sols de l'Alberta soumis à des déversements d'hydrocarbures équivaut à 2,5 %, 6,1 % et 11,1 % en poids du sol jusqu'à la profondeur de labourage (figure 7).

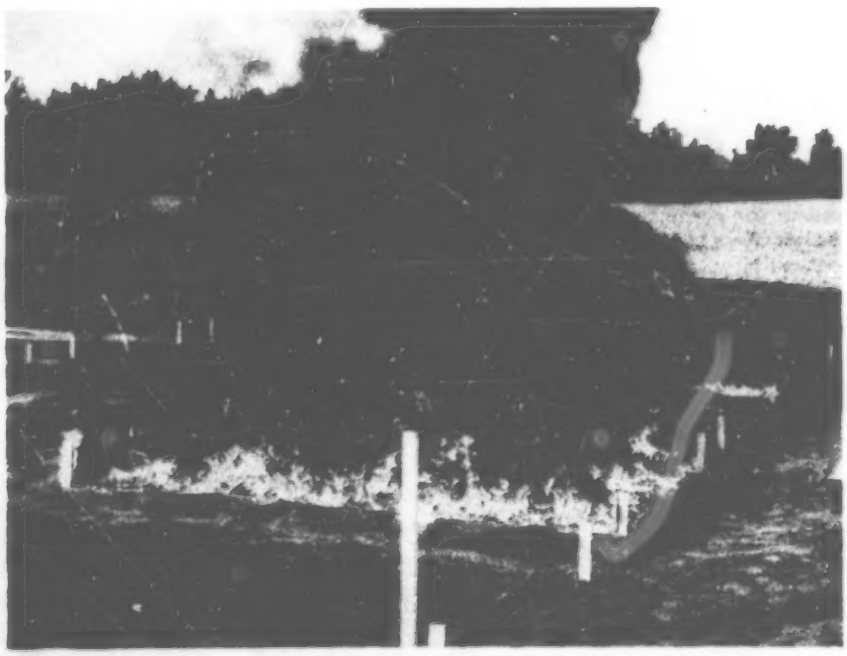
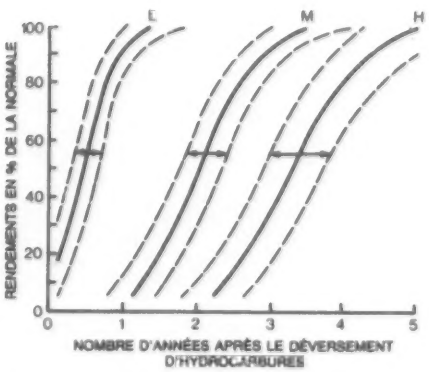


Photo 10. Le brûlage du pétrole dans le sol ne semble pas tuer les organismes du sol parce que le mouvement descendant de la chaleur n'est pas important. Les problèmes de brûlage semblent être associés à la migration descendante des matières hydrophobes en phase vapeur et aux résidus goudronneux imbrûlés subsistant ensuite, qui produisent beaucoup de fumée et éliminent les flaques de pétrole, mais ne contribuent guère à l'accélération de la restauration de la végétation.
W.B. McGill

FIGURE 7.
Calendrier de régénération de sols albertains présentant des chances du succès, avec application des techniques recommandées pour des déversements d'hydrocarbures d'importance mineure, moyenne et majeure



Remarque: Les lignes en tirets indiquent la variabilité de la période nécessaire résultant de différences dans l'époque des déversements, les sols, le climat, la gestion et la croissance des cultures (ensemencement du blé, de l'avoine ou de l'orge)

L = Importance mineure = 8,54 Kg/m^2
M = Importance moyenne = 13,7 Kg/m^2
H = Importance majeure = 24,9 Kg/m^2

Source: Toogood et McGill, 1977.

La non mouillabilité du sol et les conditions de sécheresse poudreuse à sa surface constituent un autre problème susceptible de se manifester. Par exemple, Rowell et McGill (1977) ont observé ces phénomènes sur un Luvisol orthique en un site de déversement, à environ 10 km à l'ouest d'Edmonton, qui avait été contaminé par du pétrole brut lors d'une éruption incontrôlée lors d'un forage de recherche il y a environ 25 ans.

Dans cette région, la capacité du sol non contaminé correspondait à la classe 2-3 dans l'Inventaire des terres du Canada pour l'agriculture et la plus grande partie de l'emplacement du déversement s'était régénérée naturellement et produisait de bons rendements de cultures. Il restait dans l'un des champs des bandes disséminées (couvrant une superficie estimée entre 1 et 2 ha) où les 10-20 cm supérieurs du sol étaient poudreux et hydrophobes. Ces zones étaient dénudées ou couvertes d'une croissance éparse de mauvaises herbes à racines profondes comme le chardon du Canada (*Cirsium arvense*). Les auteurs de l'étude ont établi que les problèmes à la surface étaient dus non pas à la présence de pétrole résiduaire, mais plutôt à la diminution du taux d'infiltration et à la capacité de retenue de l'eau et ils ont laissé entendre que la cause était l'accumulation de produits de poids moléculaire élevé provenant de la décomposition microbiologique du pétrole dans des conditions de faible disponibilité en azote, en phosphore et en soufre.

Bien que les techniques de régénération des terres arables contaminées aient été appliquees avec de bons résultats à des situations de déversement, à long terme, les sous-sols contaminés présentent encore de sérieux problèmes (de Jong, 1980*a*). Rowell et McGill (1977) ont observé que le déplacement du pétrole du sous-sol jusqu'à la surface, causé par la montée de la nappe phréatique, tuait la couverture superficielle de graminées sur un emplacement de déversement qui avait apparemment été réensemencé avec de bons résultats. Un déversement hivernal de pétrole brut provenant de la rupture d'un pipeline avait eu pour résultat que le pétrole avait imbibé profondément le sol avant la montée de la nappe phréatique trois ans plus tard.

Étude de cas: Saskatchewan

L'étude de cas des terres agricoles est extraite des données publiées par de Jong (1980*b*) qui décrit les répercussions biophysiques d'un déversement hivernal d'hydrocarbures, localisé juste au nord de Moose Jaw, dans la plaine de la Saskatchewan. Le sol contaminé était une argile chernozémique lacustre, lourde, d'un brun foncé. Les sols de ce type sont ordinairement associés à un climat continental frais, variant d'une nature semi-aride à sous-humide. Ce déversement de pétrole brut à base d'asphalte s'était produit à la fin de janvier 1974 et provenait d'un pipeline de 40 cm de diamètre, enterré à 1 m de profondeur. Il était estimé qu'au moment de la rupture, le sol était gelé sur un mètre de profondeur. Le pétrole s'était déplacé rapidement dans le sous-sol à partir de la rupture et avait d'abord été décelé à environ 850 m au sud du pipeline. Des tranchées et des trous de sonde ont été creusés pour recueillir le pétrole et, sur les 2 500 m^3 environ de pétrole déversé, près de 1 600 m^3 ont été récupérés. Par suite de ce déversement, une superficie d'un peu moins de 16 ha a été touchée, le degré de contamination variant considérablement tant sur le plan vertical qu'horizontal.

En raison de la grande variation de la distribution du pétrole dans le sol, l'application des techniques de régénération a posé deux problèmes majeurs. Premièrement, dans le sous-sol, la dégradation du pétrole ne pouvait être accélérée par des travaux de culture destinés à assurer une aération adéquate ou par l'application d'engrais azotés. Deuxièmement, le taux maximal d'application d'engrais azotés sur la surface contaminée était limité par la nécessité d'éviter de détériorer les récoltes par des applications excessives d'engrais dans les régions intactes.

Le tableau 12 donne les détails de l'application d'engrais et des récoltes de 1974 à 1978. D'importantes diminutions de rendement se sont produites au cours de l'été suivant le déversement, résultant à la fois de la présence du pétrole et des dommages causés à la structure du sol par les premières opérations de nettoyage. La structure du sol ne posait plus de problème en 1975; toutes les régions de rendement insuffisant étaient touchées par la contamination. De Jong (1980*b*) a étudié les répercussions de la teneur du sol en pétrole sur la production de matière sèche au-dessus du sol (tableau 13) et a conclu que même de très petites proportions de pétrole (moins de 0,25 %) causaient une diminution de rendement. Il expliquait ce résultat en soulignant que les disparités de la distribution du pétrole dans le sol donnaient lieu à des concentrations de pétrole très supérieures à la moyenne en certains endroits de l'horizon racinaire. Il montrait également que le pétrole diminuait à la fois la concentration d'azote disponible et l'absorption de l'humidité du sol par les cultures. Des concentrations de pétrole de plus de 0,5 % en volume étaient associées à une diminution d'absorption d'eau du sol par la couche contaminée et à plus grande profondeur. Les rendements étaient diminués d'environ 180 kg/ha pour chaque centimètre d'eau du sol inutilisé. Cette diminution est environ le double de celle qui est normalement observée et semble indiquer une interaction de l'humidité du sol et de l'azote.

TABLEAU 12.
Cultures, applications d'engrais et rendements de la zone contaminée par le pétrole

	1974	1975	1976	1977	1978
Culture	Orge	Avoine	Avoine	Jachère	Blé
Engrais (kg/ha)					
Azote	44	65	65*	3 × 63	6
Phosphore	13	16	16*	3 × 27	13
Rendements (kg/ha)					
Gamme des rendements pour tous les emplacements échantillonnés					
Total	0—6 300	34—5 980	359—10 810	—	695—8 990
Céréales	—	—	12— 3 880	—	276—3 690
Emplacements non contaminés, moyenne et écart-type					
Total	3 060±2 270	4 900±1 680	8 730±1 740	—	6 230±1 370
Céréales	—	—	3 000± 640	—	2 490± 591
Chiffres indiqués par l'exploitant agricole					
Céréales	—	1 520	3 270	—	2 630

* Une quantité légèrement supérieure a été appliquée sur les zones dont la contamination était nettement visible.

Source: de Jong, 1980*b*.

TABLEAU 13.
Effet de la teneur du sol en pétrole sur la production de matière sèche au-dessus du sol

Matière extractible par[1] l'éther % air-sol sec	Production relative [2] (%)					
	Total au-dessus du sol			Céréales		
	Moyenne	Écart-type	*n*	Moyenne	Écart-type	*n*
0—30cm						
<0,05	99	23	32	101	23	28
0,05—0,25	70	21	11	63	26	7
0,26—0,50	67	41	6	66	46	4
0,51—1,00	43	20	5	34	33	2
1,01—2,00	29	18	14	31	20	10
2,01—4,00	17	16	21	22	16	10
>4,00	13	15	4	16	19	3
0—90 cm [3]						
<0,05	100	22	29	100	22	26
0,05—0,25	81	26	13	87	35	9
0,26—0,50	64	37	5	35	22	2
0,51—1,00	32	18	11	29	20	9
1,01—2,00	26	20	19	26	19	11
2,01—4,00	9	12	10	19	16	3
>4,00	25	—	1	24	—	1

[1]Les sols non contaminés contiennent moins de 0,05 % en poids de matière extractible par l'éther.

[2]La valeur de 100 % est assignée à la production moyenne des emplacements non contaminés, pour une année quelconque.

[3]Moyenne de matière extractible par l'éther dans les carottes de 0-30, 30-60 et 60-90 cm extraites à chaque emplacement.

et = écart-type

n = nombre

Source: de Jong, 1980*b*.

Photo 11. Un déversement hivernal dans la forêt (11) a peu de répercussions permanentes s'il est nettoyé de la façon appropriée. Cette photo montre un déversement hivernal de pétrole provenant d'un réseau collecteur. Le pétrole a été correctement nettoyé et le terrain a été fertilisé et ensemencé de graminées, au printemps suivant le déversement. En juillet, le site se comportait bien et même ses parties les plus humides étaient saines. Dans les zones les mieux drainées, la croissance était bonne, dès septembre, et la propagation des graminées et des carex le long de son périmètre a contribué à restaurer le site. Aucune répercussion du déversement n'était visible après un an.
W.B. McGill

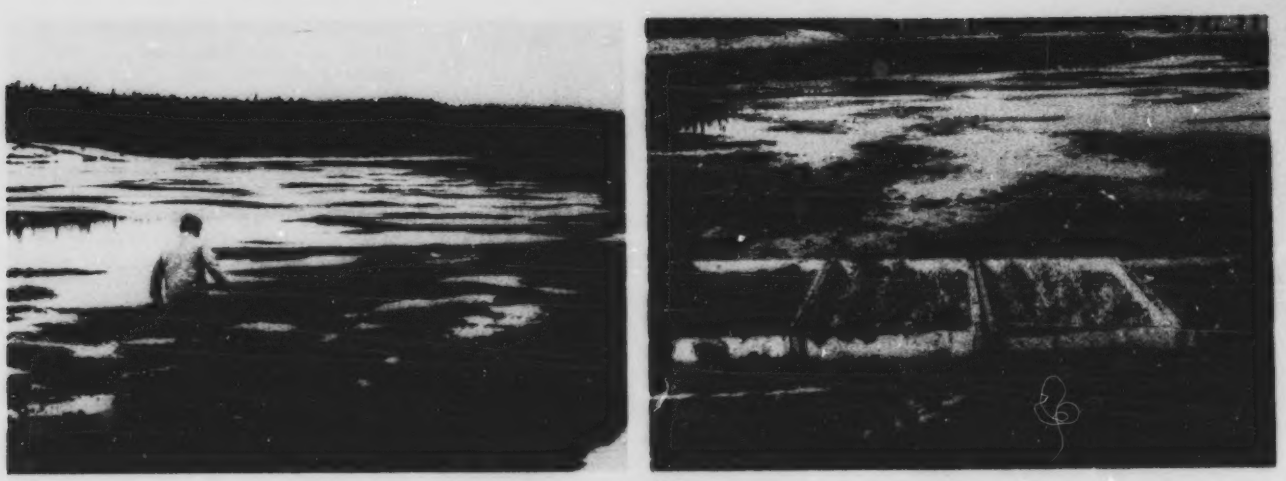
La principale utilisation des terres, la production de céréalière a été perturbée, mais non modifiée par ce déversement d'hydrocarbures. De plus, aucun impact n'a été exercé sur l'utilisation des terres avoisinantes. Les données du rendement (tableau 12) montraient que la productivité des terres pour les cultures céréalières avait diminué au cours des 5 saisons de croissance qui ont suivi le déversement. En 1978, le rendement en blé de certaines zones contaminées était encore réduit et cette diminution de productivité a fait baisser la valeur des terres. Sur les 16 ha contaminés, l'effet d'enlaidissement n'a subsisté que pendant l'année suivant le déversement, après quoi les problèmes de structure du sol n'étaient plus visibles. Il convient de remarquer que la régénération d'une zone n'exige pas la modification de l'utilisation des terres, même s'il peut y avoir diminution du rendement des cultures.

Impact sur les terres boisées

Dans le contexte de la présente étude, les terres boisées ne sont pas nécessairement des terres exploitées par l'industrie forestière; elles peuvent servir de terres récréatives ou constituer essentiellement un bassin hydrographique.

Sur les terres boisées, les déversements d'hydrocarbures causent certains problèmes semblables à ceux qui se posent sur les terres agricoles. Par exemple, Nyborg et McGill (1975) ont constaté que les faibles concentrations d'éléments nutritifs disponibles (spécialement l'azote) nécessaires à la décomposition et à la croissance des plantes contribuaient à ralentir la régénération de la couverture végétale des lieux de déversement dans les forêts. Les résultats de l'étude de la dégradation biologique des hydrocarbures exposés dans la section précédente peuvent s'appliquer aux déversements sur les terres boisées. Bien que certains problèmes à long terme puissent être causés par les déversements d'hydrocarbures dans les forêts, d'autres sont très transitoires (photo 11).

Les emplacements des déversements d'hydrocarbures dans les forêts sont souvent caractérisés par la présence de sols organiques, au drainage insuffisant, et par la formation d'une croûte après brûlage, comme le montrent les photographies de la série 12 et la figure 8. Ces trois caractéristiques sont importantes dans la détermination de l'étendue des dommages causés à l'emplacement et des possibilités de régénération. Les hydrocarbures déversés dans les forêts s'accumulent habituellement dans les basses terres mal drainées. Un mauvais drainage à l'emplacement du déversement peut résulter de l'endiguement destiné à confiner les hydrocarbures au cours du nettoyage initial. L'excès d'eau ainsi créé cause deux problèmes: premièrement, les processus métaboliques anaérobies dominent, avec production de sulfures et d'acides organiques toxiques et diminution du



12-A 12-B

Série de photos 12.

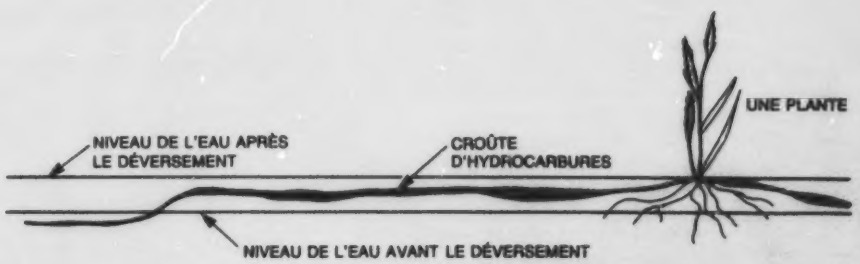
Les réseaux collecteurs contribuent aux déversements d'hydrocarbures dans les régions forestières. Le pétrole provenant de ce réseau collecteur s'est écoulé dans une région basse après un déversement hivernal. Ce site avait été la scène de plusieurs déversements qui ont commencé aux environs de 1966. Ce nettoyage consistait principalement en brûlage qui laissait un site dénudé, dépourvu de toute végétation en 1973 (12-A) et trop humide pour être parcouru à cause des digues (qui confinaient peu le pétrole mais endiguaient très bien l'eau) et de l'imperméabilisation de la surface causée par la croûte goudronneuse. L'absence d'harmonie du site provient de petites dépressions du microrelief qui ont causé les plus graves problèmes de formation d'une croûte aux endroits secs et élevés, parce qu'elles brûlaient mieux et que la nappe phréatique empêchait au début le pétrole de pénétrer profondément. Un drainage efficace, le bris de la croûte, la fertilisation (qui accélérait la décomposition du pétrole) et l'ensemencement indiquaient que le site pouvait être restauré en une saison si ces conditions pouvaient être remplies (12-B); il a été constaté que ces opérations étaient réalisables en hiver, lorsque les sites de ce type sont gelés. De nombreux sites semblables à celui-ci sont actuellement nettoyés en hiver en utilisant un gros équipement de paillage pour briser les croûtes en surface et incorporer les engrais qui favorisent la décomposition microbienne du pétrole avant la restauration de la végétation. Une autre méthode utilisée avec efficacité sur ce site consistait à planter des touffes de carex indigène qui se sont propagées dans toute la région. Ce site est désormais presque complètement recouvert de végétation. Les résultats des études faites sur ce site ont permis d'élaborer des méthodes visant à minimiser les répercussions des déversements d'hydrocarbures sur la capacité des terres dans ces régions.

12-A M. Nyborg, Université de l'Alberta
12-B M. Nyborg, Université de l'Alberta

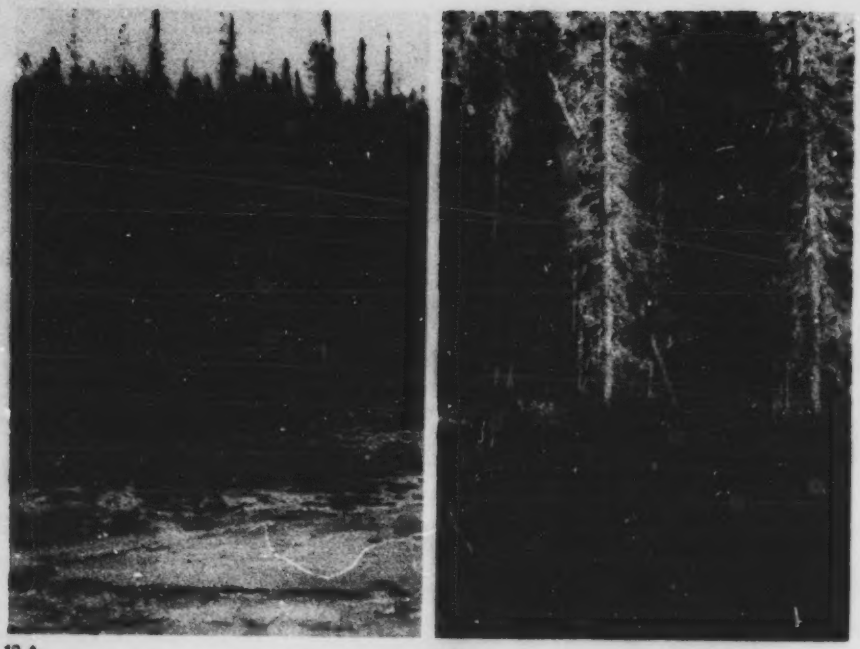
taux de décomposition; et, deuxièmement, les emplacements humides sont très difficiles à nettoyer par des procédés mécaniques (McGill et Nyborg, 1975). Sur les sites dénudés, le problème de l'insuffisance du drainage est aggravé par l'absence de végétation et la formation d'une croûte, car les pertes en eau dues à l'évapotranspiration diminuent (McGill et Nyborg, 1975). La formation d'une croûte ou d'une couche de résidus goudronneux imbrûlés à la surface du sol, résultant du brûlage des hydrocarbures au cours de l'opération de nettoyage a des répercussions nuisibles sur la décomposition des hydrocarbures et la régénération de la couverture végétale (McGill, 1975*b*). Dans le cas des forêts humides, le lessivage des hydrocarbures peut être plus prononcé dans les sols organiques que dans les sols minéraux. McGill *et al.* (1974) indiquaient que d'importantes quantités de matières solubles dans l'eau peuvent être récupérées dans les sols organiques pendant la décomposition des hydrocarbures. Dans les sols organiques des régions boisées, le niveau de la nappe phréatique, qui dépend de l'époque de l'année, peut être un facteur très important dans la détermination de l'étendue des dommages dus à un déversement (McGill, 1975*b*). En automne, lorsque le niveau de la nappe phréatique tend à être bas, les hydrocarbures pénètrent plus profondément dans le sol qui en retient une plus grande quantité. D'autres problèmes comme l'érosion et la perturbation de l'emplacement par les engins mécaniques sont illustrés sur les photographies de la série 13.

L'estimation de la durée requise pour réparer les dégâts causés par les déversements d'hydrocarbures dans les forêts varie. Nyborg *et al.* (1974) ont indiqué qu'après de petits déversements, la végétation peut être reconstituée en un ou deux ans, mais les sites de déversements massifs sur certains sols boisés organiques peuvent rester complètement dénudés pendant des décennies. De même, McGill et Nyborg (1975) ont rapporté que malgré la restauration rapide et complète d'un certain nombre de sites, les répercussions des déversements ont persisté pendant 25 ans ou plus, pour quelques-uns d'entre eux. En ce qui concerne l'efficacité des techni-

FIGURE 8.
Représentation schématique d'une croûte d'hydrocarbures



Remarque: Cette figure représente schématiquement une croûte d'hydrocarbures subsistant après brûlage sur un emplacement boisé humide. Elle montre la montée du niveau de l'eau liée à l'étanchéité de la croûte et à la rareté des plantes.



13-A 13-B

Série de photos 13. Dans les régions forestières, l'un des problèmes rencontrés est que, sur les pentes, l'élimination de la végétation de la surface favorise l'érosion. La matière légèrement colorée à l'avant-plan de la photographie 13-A est un sol érodé provenant de la pente qui avait été dessouchée pendant le nettoyage du pétrole. Ce site avait été brûlé, ce qui avait laissé un résidu goudronneux (13-B) et le site était resté dénudé jusqu'à ce que la croûte ait été brisée et le site réensemencé. La végétation peut être luxuriante aux endroits où le site est traité de la façon appropriée, alors que les terres avoisinantes restent dénudées, si le résidu brûlé n'a pas été brisé.
13-A W.B. McGill
13-B W.B. McGill

ques de régénération, Nyborg et McGill (1975) concluaient que, sur les sols boisés organiques, l'application d'azote et de chaux peut accélérer la décomposition d'un facteur d'environ 10. La restauration naturelle de la végétation des emplacements boisés a fréquemment été observée (voir exemple, photographie 14).

Étude de cas: Alberta

L'étude de cas d'une terre boisée est extraite d'un rapport de Rowell et McGill (1977) qui ont étudié les possibilités de restauration après cinq déversements d'hydrocarbures en Alberta. Le site était localisé approximativement à 6 km à l'ouest de la ville de Swan Hills, dans les hautes-terres Swan Hills du nord de l'Alberta. Il se trouvait dans une dépression couverte antérieurement d'épinettes noires (*Picea mariana*), de carex (*Carex* spp.), et de lédons du Groenland (*Ledum groenlandicum*), ainsi que de sphaigne (*Sphagnu* spp.) et de linaigrettes (*Eriophorum* spp.) dans les parties plus humides. Dans cette région, la tourbe était acide (pH 4,5), classée comme étant «fibreuse» et avait une épaisseur comprise entre 90 et 150 cm. Ce site n'avait pas été utilisé pour les loisirs ni pour la production de fibres commerciales avant les déversements. Sur une période de sept ans antérieure à 1973, cet emplacement avait reçu plusieurs déversements d'un pétrole brut léger, à base de paraffine et à faible teneur en soufre.

L'emplacement du déversement occupait une surface de 4 ou 5 ha et était très humide au printemps et en été. Le brûlage de l'excès de pétrole en surface avait laissé une couche de résidus goudronneux formant une croûte huileuse de quelques centimètres d'épaisseur. Certaines fractions plus lourdes du pétrole n'avaient pas pénétré sous cette croûte. Dans les 4 cm supérieurs, la teneur en pétrole variait entre 200 % et 300 % du poids de la tourbe sèche exempte de pétrole. La teneur en pétrole de la couche située entre 4 et 15 cm de profondeur diminuait jusqu'à seulement 35 % du poids de la tourbe sèche exempte de pétrole. La profondeur de pénétration du pétrole variait entre 15 cm dans les zones sèches de monticules et 2 cm dans les microdépressions humides. Des méthodes de confinement du pétrole comme l'endiguement avaient eu pour résultat un mauvais drainage de l'emplacement.

Rowell et McGill ont observé que les zones plus sèches de l'emplacement étaient lentement recolonisées par les carex et les graminées indigènes qui s'étalaient par des rhizomes ou des racines rampantes. Les autres plantes qui semblaient contribuer à la restauration de la végétation des zones plus humides autour du périmètre de l'emplacement du déversement étaient la linaigrette et le ményanthe trifolié (*Menyanthes trifoliata*). Le tableau 14 indique la teneur du sol en pétrole autour des carex qui poussaient dans trois zones contaminées.

Des expériences ont montré que la restauration de l'emplacement serait améliorée par le labourage qui briserait la croûte de la surface et améliorerait l'aération et par l'addition de chaux et d'engrais. Il était difficile de régénérer sans drainage les emplacements humides dénudés bien que la plantation de touffes de carex dans le site ait donné de bons résultats. Les auteurs concluaient que les principaux facteurs inhibant la croissance des plantes étaient l'insuffisance du drainage, la présence d'une croûte dure à forte teneur en pétrole et l'absence apparente de graines viables et de racines dans les zones dénudées de l'emplacement du déversement.

TABLEAU 14.
Teneur du sol en pétrole autour des plantes croissant en groupes isolés sur le site du déversement.

N° du groupe	Emplacement de l'échantillon	Teneur en pétrole (%)
1	Surface	63,7
	Autour des racines	43,9
2	Surface	59,2
	Autour des racines	30,6
3	Surface	63,2
	Autour des racines	23,8

Source: Rowell et McGill, 1977.

Photo 14. Restauration naturelle d'un site de déversement d'hydrocarbures en forêt.
W.B. McGill

L'excès d'eau de l'emplacement était dû à l'insuffisance du drainage naturel et à l'absence d'évapotranspiration des zones croûtées dénudées et de drainage de la surface due à l'endiguement. L'établissement de plantes accélérait le processus de desséchement.

Ils estimaient que la croissance des touffes de carex produirait en trois ans une épaisse couverture sur la région étudiée. Ils considéraient que, dans une zone humide, le front d'un peuplement de linaigrettes s'était avancé de deux mètres en moyenne pendant la période d'un an étudiée et en concluaient que la recolonisation des zones humides pouvait être très rapide.

Il était plus difficile d'évaluer l'impact sur les ressources en terres dans les zones boisées que dans les terres agricoles. Le déversement avait des effets désagréables sur la beauté des lieux, mais aucune utilisation spécifique de la terre n'était perturbée et il n'y avait ni modification de l'utilisation de la terre ni impact sur les utilisations des terres avoisinantes. Le déversement d'hydrocarbures diminuait la productivité des plantes de l'emplacement mais, comme il s'agissait de terres de la Couronne, il était difficile d'estimer si ce phénomène modifiait la valeur de la terre. À la fin de la période étudiée, l'emplacement du déversement n'avait pas encore été complètement restauré et constituait encore, par conséquent, une source d'hydrocarbures susceptible d'entrer dans les eaux superficielles et souterraines.

McGill et Nyborg (1975) mentionnaient que lorsque des emplacements boisés pollués par un déversement d'hydrocarbures ne sont pas restaurés, il en résulte des dangers potentiels pour la faune et les approvisionnements en eau. Il n'existait, pour ce déversement, aucun signe direct de toxicité pour la faune. Néanmoins, la valeur récréative des terres était détruite et toute production de bois d'oeuvre était suspendue jusqu'à ce que la régénération des terres ait donné de bons résultats. Si des déversements se produisent dans des clairières plates de zones forestières, la sauvagine peut prendre ces dernières pour des étangs et essayer de s'y poser. On voit parfois, dans ces zones, des oiseaux morts mazoutés. Cette étude de cas décrivait un site forestier contaminé par un déversement d'hydrocarbures et où les seules modifications nuisibles à long terme portaient sur la productivité et l'aspect du site.

Régions arctiques

Les régions arctiques et nordiques, caractérisées par un pergélisol continu ou discontinu sont couvertes par une végétation de toundra ou de taïga ou consistent en un désert polaire. De ce fait, cette troisième catégorie d'environnement comprend des terres dont la couverture superficielle est variée. Pour les régions arctiques, la plus grande partie des informations décrivant les répercussions des déversements d'hydrocarbures est basée sur des déversements expérimentaux qui ont les deux caractéristiques suivantes: premièrement, le déversement est constitué habituellement par une application uniforme de pétrole à la surface du terrain délimité pour l'expérience et, deuxièmement, la quantité de pétrole déversée est moins grande que celle d'un déversement réel. En outre, les répercussions à long terme de ces déversements n'ont pas encore été évaluées. Il faut se rappeler que dans l'Arctique, les déversements à terre peuvent être moins dévastateurs que les déversements en mer ou sur la côte, c'est pourquoi les prédictions faites par les médias d'information sur les répercussions écologiques catastrophiques des «déversements de pétrole dans l'Arctique» ne peuvent être appliquées sans discrimination aux autres situations de déversements à terre.

En 1975 MacKay a fait une étude du comportement physique des déversements d'hydrocarbures sur les terres du Grand Nord en prévision de la construction éventuelle d'un pipeline dans la vallée du Mackenzie. Il a décrit brièvement les terres que ce pipeline traverserait: dans le nord, la toundra où le sol minéral est recouvert d'une couche organique de 20 à 30 cm d'épaisseur. La végétation y est composée de mousses, arbustes et buissons peu élevés. Au sud de la toundra, le pipeline traverserait la taïga dominée par l'épinette noire (*Picea mariana*) avec quelques bouleaux (*Betula* spp.) et mélèzes (*Larix* spp.). Dans la région de la taïga, la couche organique à la surface du sol a entre 30 et 100 cm d'épaisseur et isole le pergélisol qu'elle recouvre. D'après l'analyse des données sur la fréquence des déversements, MacKay (1975) prévoyait qu'un pipeline dans la vallée du Mackenzie pourrait, chaque année, être à l'origine de deux déversements dont le volume moyen serait de 1 600 m³ chacun. Il soulignait que le comportement physique des hydrocarbures déversés varierait selon les conditions météorologiques (ou climatiques), les caractéristiques des hydrocarbures, les conditions du sol et de la couverture organique et la topographie. Chaque déversement sera par conséquent distinct comme dans les cas des terres boisées et agricoles. L'époque de l'année constitue un facteur important quand il s'agit d'évaluer l'étendue de la zone touchée. Pour un déversement de 8 000 m³ (le plus gros déversement possible) les valeurs prévues de la surface contaminée variaient entre 1,6 ha en hiver et 8,9 ha en été. À la suite d'un déversement printanier (événement moins fréquent) la contamination pourrait s'étendre jusqu'à 30 ha. D'après MacKay ces déversements auraient sur la zone touchée un effet visuel très désagréable, tel que la disparition presque complète de la végétation. Toutefois, l'érection de digues efficaces diminuerait de beaucoup les dommages causés à l'environnement en dehors de la région immédiate du déversement. MacKay (1975) comparait l'impact d'un déversement de ce type aux incendies de forêts, à d'intenses activités locales comme la construction de routes et à l'impact de secousses sismiques. Il concluait que les déversements auraient des effets limités dans le temps et dans l'espace sur l'écosystème régional.

Dans l'Extrême Arctique, plusieurs «oasis» jouissent d'un microclimat exceptionnel et d'une productivité relative élevée. Ces «oasis» sont essentiels au fonctionnement des écosystèmes de cette région. Ces zones importantes de produc-

tion primaire dans la région étant habituellement situées dans les basses terres seraient dévastées par des déversements d'hydrocarbures. Bien que, dans une région de ce type, l'étendue d'un déversement puisse être petite, il est vraisemblable que l'ampleur de son impact écologique serait disproportionnée.

Différentes études basées sur des déversements expérimentaux ont traité des répercussions du pétrole répandu sur les sols et la végétation dans l'Arctique, en particulier sur la couche active dans la vallée du Mackenzie. MacKay, Charles et Phillips (1974*a*) ont étudié l'hypothèse selon laquelle une modification du régime thermique résultant de la pénétration du pétrole dans les couches superficielles organiques ferait fondre le pergélisol, rendrait le sol instable et provoquerait des modifications biologiques et hydrologiques à l'emplacement du déversement. À partir d'observations complémentaires faites sur des déversements expérimentaux à Norman Wells, T.N.O., ils concluaient qu'un déversement d'hydrocarbures n'aurait pas de graves répercussions sur le régime thermique des couches organiques et qu'il serait par conséquent peu probable que le sol devienne instable (MacKay, Charles et Phillips, 1974*b*). Bien qu'Hutchinson et Hellebust (1974) aient signalé qu'une augmentation de 15 à 20 % de la profondeur de la couche active avait été causée par un déversement d'hydrocarbures sur un emplacement exposé (forêt brûlée), ils concluaient, dans un rapport ultérieur, que le pergélisol était peu altéré par des déversements expérimentaux de pétrole brut en dépit des modifications des bilans énergétiques et de la profondeur de la couche active du site en question (Hutchinson et Freedman, 1975).

Dans l'Arctique, les répercussions des déversements d'hydrocarbures sur la végétation sont dues aux réactions de l'environnement à l'action herbicide du pétrole déversé. Les déversements à terre avaient des répercussions dévastatrices sur la végétation au-dessus du sol (Hutchinson et Freedman, 1975). La vulnérabilité des espèces végétales à l'impact des déversements d'hydrocarbures est variable (Hutchinson et Hellebust, 1974); par exemple, la couverture vivante de lichens et de mousses était sérieusement perturbée par le pétrole déversé. La diversité des espèces et la couverture végétale sont donc réduites à l'emplacement du déversement. La régénération est lente. Les répercussions phytotoxiques des déversements hivernaux semblent être moins graves que celles des déversements estivaux. De même, dans la toundra, les dommages semblent moins importants que dans la taïga (Hutchinson, Hellebust et Telford, 1974). Ils concluaient qu'en général, les répercussions du pétrole sur la végétation étaient semblables à celles d'un incendie. La disparition du feuillage qui diminue la production de réserves peut entraîner l'accroissement du taux de destruction des plantes en hiver sur le site du déversement (Hutchinson et Freedman, 1975). La floraison et la reproduction sont également très diminuées. La fertilité des sols arctiques et les carences en substances nutritives résultant de la croissance microbienne sur le carbone des hydrocarbures inhiberaient la restauration de la végétation sur les sites des déversements (Hutchinson et Hellebust, 1974).

Les répercussions microbiologiques des déversements d'hydrocarbures sur les sols arctiques sont semblables à celles qui ont été décrites antérieurement pour les terres agricoles et boisées. Par exemple, Cook et Westlake (1973) et Parkinson (1973 et 1974) ont observé la dégradation de la fraction de n-paraffine du pétrole brut déversé par les micro-organismes des sols arctiques. L'application d'azote et de phosphore augmentait le taux de dégradation. Dans les sols arctiques, il faut s'attendre à ce que le taux de biodégradation soit faible parce que, premièrement l'activité de digestion du pétrole n'a pas été observée de façon uniforme dans la microflore indigène des sols arctiques (Cook et Westlake, 1973) et que le taux de dégradation de la fraction de n-paraffine était réduit aux basses températures; deuxièmement, Parkinson (1974) pensait que la dégradation par les bactéries anaérobies serait importante dans les emplacements humides, mais se produirait plus lentement que par des bactéries aérobies. On a calculé que, dans la vallée du Mackenzie, le taux de décomposition du pétrole (et, par conséquent, le taux de restauration du site) était environ le tiers de celui des grandes plaines canadiennes et seulement un sixième de celui du sud des États-Unis (Rowell, 1980).

Dans l'Arctique, il est difficile d'évaluer l'impact des déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation, la valeur et la capacité des terres. Un site enlaidi par un déversement, présente des aspects repoussants et la productivité du sol est parfois considérablement réduite. L'importance régionale des «oasis» peut être capitale. La contamination des approvisionnements en eau potable par les fuites des installations d'entreposage ou d'autres sources constitue un problème évident qui doit être résolu. Les dommages résultant des déversements d'hydrocarbures n'ont toutefois pas modifié l'utilisation des terres par l'homme, laquelle n'est pas encore bien définie, et ne l'ont pas non plus incité à modifier cette utilisation. L'absence d'évaluation des répercussions à long terme des déversements de pétrole dans l'Arctique rend difficile la détermination de la période nécessaire à la restauration des sites pollués.

MacKay (1978) a étudié les raisons qui justifient le nettoyage des déversements d'hydrocarbures, en particulier dans les régions arctiques éloignées. Il a indiqué que, pour certains petits déversements d'hydrocarbures, la valeur intrinsèque des hydrocarbures est négligeable par comparaison avec le coût du nettoyage, que la perte économique est faible, qu'aucune espèce en danger n'est susceptible d'être détruite et que les dommages écologiques ne persistent probablement pas plus que quelques années. La santé de l'homme n'est nullement menacée et les déversements se produisent dans une région rarement fréquentée. MacKay (1978) pense, par conséquent, que le nettoyage ne se justifie nullement pour des raisons économiques ou écologiques. Selon ses propres termes:

> «La plupart des indices révèlent que les déversements d'hydrocarbures ont des répercussions perturbatrices localisées qui durent quelques jours ou semaines dans la colonne d'eau et, éventuellement, quelques années dans les sédiments marins ou sur les rivages. L'écosystème se restaure probablement assez rapidement et aucune modification irréversible n'est manifeste. D'aucuns soutiendraient que nous ne devrions pas laisser les hydrocarbures altérer les écosystèmes. Mais, en réalité, nous modifions les écosystèmes par l'agriculture, la pêche, les centrales hydroélectriques, l'exploitation minière, la foresterie et l'urbanisation. Nous acceptons un certain degré de perturbation écologique et, en vérité les «belles terres vertes» constituent rarement l'écosystème original; elles sont le résultat d'interventions humaines. Il est inconcevable que le pétrole puisse perturber les écosystèmes au même degré que celui atteint par une pêche excessive, la désertification résultant d'un mauvais entretien du sol, l'acidification lacustre, l'exploitation minière à ciel ouvert ou la coupe à blanc des forêts.»

L'aspect repoussant d'un environnement mazouté dans l'Arctique constitue pour la société la raison principale du nettoyage. MacKay (1978) s'est porté à la défense de cette attitude sociale en soulignant l'importance que l'industrie devrait lui accorder lorsqu'elle élabore des programmes de travaux dans des régions relativement vierges. L'Arctique ne peut pas être considéré comme un seul et unique écosystème. Plusieurs milieux différents y forment un éventail de systèmes écologiques qui réagissent aux déversements d'hydrocarbures et contribuent à la productivité de la région de diverses façons. La valeur des endroits qui pourraient éventuellement servir à des fins récréatives serait considérablement réduite par suite de déversements d'hydrocarbures. Par conséquent, la réaction du public face à ces déversements et à leurs effets doit être fondée sur une évaluation objective des endroits en question et de leur rôle au sein de l'écosystème local dont ils font partie.

Conclusion

Au Canada, l'intérêt et les préoccupations suscités par les déversements d'hydrocarbures à terre sont très vifs dans l'industrie pétrolière et chez les propriétaires fonciers. C'est pourquoi, de

plus grands efforts ont été consacrés à la recherche en matière de restauration des sites pollués qu'à l'étude de l'impact environnemental, dans les régions agricoles, en dehors des observations faites par les propriétaires fonciers sur l'arrêt du développement des cultures. Si la culture d'un produit quelconque assure nos moyens de subsistance, il semble qu'il est inutile de faire plus de recherches environnementales; il faudra plutôt des renseignements approfondis sur le comportement du pétrole dans le système, sur la nature de l'intéraction créée entre le sol et le pétrole et sur la manière d'accélérer le rétablissement du système. Dans les régions boisées, l'effort a été partagé entre l'évaluation de l'impact environnemental et la restauration. Dans l'Arctique, seule l'évaluation de l'impact a fait l'objet de recherches importantes.

Au Canada, l'impact des déversements d'hydrocarbures à terre sur l'utilisation, la valeur et la capacité des terres peut être évalué en fonction des effets nuisibles sur l'utilisation actuelle, comme la diminution de la productivité des terres agricoles ou l'élimination de certaines possibilités d'utilisation des terres telles que décrites à propos des déversements d'hydrocarbures sur les terres boisées, ou les répercussions sur la beauté des lieux et l'attitude du public envers les modifications des écosystèmes naturels qui perturbent indirectement l'utilisation des terres.

En général, l'utilisation des terres adjacentes n'est pas touchée par les fuites ou les risques de fuite des pipelines. En effet, les pipelines qui traversent des terres agricoles sont normalement construits de façon que l'on puisse continuer à cultiver ces terres comme avant. Dans les secteurs urbains, les conduites de pétrole, et celles de gaz plus particulièrement, sont isolées des zones résidentielles en raison des dangers d'incendies, etc., et non des risques de déversements. Dans les régions boisées, on s'assure que les emprises soient toujours défrichées, mais les terres adjacentes et leur utilisation ne sont pas touchées. Par contre, les personnes qui utilisent ces emprises pour accéder aux forêts qui les bordent peuvent, elles, constituer un facteur perturbateur considérable.

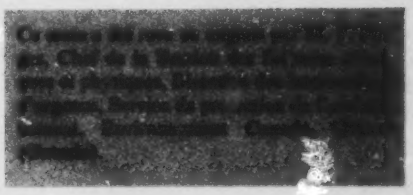
Les effets des déversements d'hydrocarbures sur les possibilités des terres sont rarement permanents. Leur durée peut varier de moins d'une année à plus de vingt ans selon, principalement, les méthodes utilisées pour le nettoyage et les conditions écologiques. Par conséquent, on prévoit une certaine stabilité qui résultera du fait que la superficie des terres qui seront touchées par de nouveaux déversements d'hydrocarbures sera équivalente à celle des terres polluées dont on aura rétabli le potentiel original.

L'étendue des terres réellement perturbées par les déversements d'hydrocarbures ne fait pas l'objet d'une étude, seules sont considérées les quantités de matières déversées. En nous basant sur des observations personnelles de la période nécessaire au rétablissement des possibilités d'utilisation des terres et d'après les données des quantités de pétrole déversées annuellement, nous avons estimé que les possibilités d'utilisation des terres ou leur productivité ont été diminuées sur moins de 1 000 ha de terres au Canada. Nous ne prévoyons pas que cette surface augmentera beaucoup au cours de la prochaine décennie parce qu'à mesure que de nouveaux déversements se produiront, certaines des possibilités d'utilisation des terres polluées seront rétablies et que vraisemblablement, la stabilité actuelle de cet état se maintiendra.

Les modifications biophysiques du sol et, dans une certaine mesure, de la végétation ont une importance primordiale dans la définition des répercussions des déversements sur les possibilités d'utilisation des terres parce que les propriétés du sol déterminent un grand nombre de ces possibilités. Les effets biophysiques varient selon l'environnement. En général, sur les terres agricoles, les méthodes pour accélérer la biodégradation du pétrole déversé sur le sol arable assurent une restauration en deux, trois ou quatre ans. Le sous-sol contaminé par le pétrole présente un problème plus long à résoudre. Les terres boisées et arctiques constituent des environnements où la restauration est rendue difficile à cause de la plus grande vulnérabilité des sites mazoutés à l'époque et à l'emplacement des déversements. Les effets nuisibles y persistent habituellement plus longtemps que dans les terres agricoles. Les régions d'«oasis» du grand Nord sont particulièrement vulnérables et doivent être protégées mais, il se pourrait que les préoccupations relatives aux déversements d'hydrocarbures dans le désert polaire improductif soient mal fondées. Les déversements d'hydrocarbures à terre ne peuvent être confondus sans discrimination avec les déversements en mer et en eau douce lorsqu'il s'agit d'évaluer l'importance et la persistance des dommages qu'ils causent à l'environnement. Si le transport des matières solubles depuis les sites endigués de déversement à terre jusqu'aux voies d'eau et aux réserves en eau potable constitue un problème, son importance n'a pas été analysée.

L'impact des déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation des terres se produit en deux temps. Un effet immédiat résulte souvent de la présence du sulfure d'hydrogène gazeux dans les hydrocarbures déversés. Ce gaz est toxique et, en certains cas, les régions en cause doivent être évacuées pendant une période comprise entre plusieurs heures et plusieurs jours pendant que le gaz se disperse. Aucun effet persistant de ce polluant sur l'utilisation des terres n'a été constaté. À plus long terme, on observe l'effet résiduel des hydrocarbures eux-mêmes sur l'écosystème terrestre.

L'histoire des déversements d'hydrocarbures est aussi ancienne que celle de l'industrie pétrolière qui, au Canada, est antérieure à celle des États-Unis. Il est difficile de déterminer les impacts majeurs à long terme des déversements d'hydrocarbures sur l'utilisation des terres, qu'il faut distinguer des répercussions des fuites des réservoirs d'entreposage, des installations de pipelines, des réseaux de collecte et des installations des raffineries. Il faut conclure que les déversements d'hydrocarbure n'ont, à l'échelon national, qu'un impact mineur sur l'utilisation des terres bien qu'ils créent, en fait, de graves problèmes locaux qui durent entre quelques mois et quelques années ou, en de rares cas, des décennies.



GLOSSAIRE

[1]Mercaptan — Substance semblable à un alcool mais comportant un atome de soufre au lieu d'un oxygène.

[2]Paraffine — Substance cireuse obtenue lors de la distillation des pétroles bruts. La paraffine est un mélange complexe d'alcanes à chaînes longues, résistant à l'eau et chimiquement inerte. Ce nom est parfois utilisé pour désigner une classe de composés de type alcanes.

Alcanes — Classe d'hydrocarbures (composés d'hydrogène et de carbone) caractérisée par des chaînes d'atomes de carbone ramifiées ou non et des atomes d'hydrogène qui y sont liés. Les alcanes ont pour formule générale C_nH_{2n+2} et ne contiennent aucune liaison double carbone-carbone, c'est-à-dire qu'ils sont saturés. Ils sont souvent appelés paraffines et constituent le principal composant du gaz naturel et du pétrole. Ceux qui contiennent moins de cinq atomes de carbone par molécule (dans la formule ci-dessus, n est plus petit que cinq) existent habituellement à l'état gazeux à la température ambiante (par ex. le méthane), ceux qui contiennent entre cinq et quinze atomes de carbone existent habituellement à l'état liquide et les alcanes à chaîne droite ayant plus de 15 atomes de carbone sont des matières solides. À de faibles concentrations, les alcanes contenant un petit nombre d'atomes de carbone provoquent l'anesthésie et la narcose (stupeur, activité ralentie) et, à de fortes concentrations, ils peuvent endommager les cellules et provoquer la mort de différents organismes. Les alcanes contenant un grand nombre d'atomes de carbone ne sont généralement pas toxiques, mais il a été montré que, chez certaines espèces, ils interfèrent avec les processus normaux du métabolisme et de communication.

[3]Naphtènes — Classe d'hydrocarbures ayant des propriétés physiques et chimiques semblables à celles des alcanes, mais caractérisés par la présence d'anneaux simples fermés. Comme les alcanes, les naphtènes sont saturés, c'est-à-dire qu'ils ne contiennent pas de liaisons doubles carbone-carbone, et ont pour formule générale C_nH_{2n}. Ils se trouvent dans les pétroles bruts et les produits pétroliers raffinés. Les hydrocarbures de cette classe sont insolubles dans l'eau et atteignent généralement leur point d'ébullition à une température supérieure de 10-20°C à la température d'ébullition des alcanes contenant le même nombre d'atomes de carbone.

[4]Hydrocarbures aromatiques — Classe d'hydrocarbures caractérisée par des anneaux contenant six atomes de carbone. Le benzène est l'hydrocarbure aromatique le plus simple et la plupart des autres hydrocarbures aromatiques sont dérivés de ce composé. Ils sont considérés comme étant à court terme les hydrocarbures aromatiques les plus toxiques du pétrole et sont présents dans pratiquement tous les pétroles bruts et produits pétroliers. De nombreux hydrocarbures aromatiques sont, dans une certaine mesure, solubles dans l'eau, ce qui accroît leur danger pour les organismes aquatiques. Certains d'entre eux sont considérés comme étant des poisons à long terme et ont souvent des répercussions cancérogènes.

[5]Asphalte — Matière hydrocarbonée noire ou brune dont la consistance varie entre celle d'un liquide lourd et d'une matière solide. La source d'asphalte la plus commune est le résidu de la distillation fractionnée des pétroles bruts. Il est utilisé principalement comme enduit de surface.

Source des numéros 2 et 5: Fingas *et al*, 1979.

BIBLIOGRAPHIE

Baker, J.M. 1970. «The Effects of Oils on Plants.» Environmental Pollution. vol. 1, nº 1, pp. 27–44. Elsevier Publishing Co. Ltd. Barking, Essex, England.

Beach, R.A. 1979. «Rétrospective des situations d'urgence au Canada en 1978» dans bulletin La lutte contre les déversements, vol. 4, nº 4, pp. 58-63. Direction des interventions d'urgence. Service de la protection de l'environnement. Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Brushett, E.R. 1975. «Oil and Salt Water Spills in the Province of Alberta.» Proceedings of the Conference on the Environmental Effects of Oil and Salt Water Spills on Land. pp. 12–20. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

_____. 1979. Oil and Salt Spills and Contingency Planning. Presented to Co-op Chairman Steering Committee. Energy Resources Conservation Board. Calgary, Alberta.

Clayton, J.S., *et al.* 1977. Soils of Canada. vol. 1: Soil Report. A Cooperative Project of the Canada Soil Survey Committee and the Soil Research Institute, Ottawa, Ontario. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Cook, F.D., et Westlake, D.W.S. 1973. Biodegradability of Northern Crude Oils. Rapport nº 73-20. Programme écologique et social, Pipelines du Nord, Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Ottawa, Ontario.

CPA. 1979. Statistical Handbook. Canadian Petroleum Association. Calgary, Alberta.

De Jong, E. 1980*a*. «Reclamation Problems and Procedures for the Oil Industry on the Canadian Prairies.» Reclamation Review. vol. 3, pp. 75–85. Pergamon Press Ltd. New York, New York.

_____. 1980*b*. «The Effect of a Crude Oil Spill on Cereals.» Environmental Pollution. vol. 22, nº 3, pp. 187–196. Applied Science Publishers Ltd. Essex, England.

Duffy, J.J.; Peake, E.; et Mohtadi, M.F. 1975. «Subsurface Biophysiochemical Transformations of Spilled Crude Oil.» Proceedings of the Conference on the Environmental Effects of Oil and Salt Water Spills on Land. pp. 136–183. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

Ellis, R., et Adams, R.S. 1961. «Contamination of Soils by Petroleum Hydrocarbons.» Advances in Agronomy. vol. 13, pp. 197–216. Academic Press. New York, New York.

Fingas, M.F.; Duval, W.S.; et Stevenson, G.B. 1979. Principes fondamentaux du nettoyage des déversements d'hydrocarbures: Compte tenu spécialement du sud du Canada. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Francke, H.C., et Clark, F.E. 1974. Disposal of Oil Wastes by Microbial Assimilation. Report Y-1934. U.S. Atomic Energy Commission. Washington, DC.

Gudin, C., et Syratt, W.J. 1975. «Biological Aspects of Land Rehabilitation Following Hydrocarbon Contamination.» Environmental Pollution. vol. 8, nº 2, pp. 107–112. Applied Science Publishers Ltd. Essex, England.

Hutchinson, T.C., et Freedman, W. 1975. «Effects of Experimental Crude Oil Spills on Taiga and Tundra Vegetation of the Canadian Arctic.» 1975 Conference on Prevention and Control of Oil Pollution: Proceedings. Held March 25–27, 1975, in San Francisco, California. pp. 517–525. American Petroleum Institute, Environmental Protection Agency and United States Coast Guard. American Petroleum Institute. Washington, DC.

Hutchinson, T.C., et Hellebust, J.A. 1974. Oil Spills and Vegetation at Norman Wells, N.W.T. Rapport nº 73-44. Programme écologique et social, Pipelines du Nord, Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Ottawa, Ontario.

Hutchinson, T.C.; Hellebust, J.; et Telford, M. 1974. Oil Spill Effects on Vegetation and Soil Microfauna at Norman Wells and Tuktoyaktuk, N.W.T. Rapport nº 74-14. Programme écologique et social, Pipelines du Nord, Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Ottawa, Ontario.

Lord, T.M., *et al.* 1978. Guidebook for a Soil and Land Use Tour in the Southern Cordillera of British Columbia and Alberta. Tour 3. 11th Congress International Society of Soil Science. Edmonton, Alberta.

MacKay, D. 1975. «The Physical Behaviour of Oil Spills on Northern Terrain.» Proceedings of the Conference on the Environmental Effects of Oil and Salt Water Spills on Land. pp. 81–110. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

MacKay, Donald. 1978. «Pourquoi nettoyer les déversements d'hydrocarbures?» dans bulletin La lutte contre les déversements. vol. 3, nº 4, pp. 12–19. Direction des interventions d'urgence, Service de la protection de l'environnement. Ottawa, Canada.

MacKay, D.; Charles, M.E.; et Phillips, C.R. 1974*a*. The Physical Aspects of Crude Oil Spills on Northern Terrain. Rapport nº 73-42. Programme écologique et social, Pipelines du Nord, Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Ottawa, Ontario.

_____. 1974*b*. The Physical Aspects of Crude Oil Spills on Northern Terrain, Second Report. Rapport nº 74-25. Programme écologique et social, Pipelines du Nord, Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Ottawa, Ontario.

MacKay, Donald, et Harrison, Wyman, éds. 1973. Proceedings of the Conference on Oil and the Canadian Environment. Institute of Environmental Sciences and Engineering. University of Toronto. Toronto, Ontario.

MacKay, D., et Mohtadi, M. 1975. «The Area Affected by Oil Spills on Land.» The Canadian Journal of Chemical Engineering. vol. 53, nº 2, pp. 140–143. The Canadian Society for Chemical Engineering. Ottawa, Ontario.

McGill, W.B. 1975*a*. «A Preliminary Model of Oil Decomposition in Soils.» Proceedings of the Conference on the Environmental Effects of Oil and Salt Water Spills on Land. pp. 291–312. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

———. 1975*b*. «Clean Up and Effects: Restoration Procedures.» Industry-Government Spill Seminar: Proceedings. Held June 9, 1975. pp. 117–157. Prairie Regional Oil Spill Containment and Recovery Advisory Committee. Canadian Petroleum Association. Calgary, Alberta.

———. 1976. An Introduction for Field Personnel to the Effects of Oil Spills on Soil and Some General Restoration and Cleanup Procedures. The University of Alberta. Edmonton, Alberta.

———. 1977. «Soil Restoration Following Oil Spills.» Journal of Canadian Petroleum Technology. vol. 16, n° 2, pp. 60–67. Canadian Institute of Mining and Metallurgy. Montréal, Québec.

McGill, W.B., *et al.* 1974. «Methods of Accelerating Oil Decomposition in Soil.» Proceedings of a Workshop on Reclamation of Disturbed Lands in Alberta. Édité par Drake Hocking et William R. MacDonald. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

McGill, W.B., et Nyborg, M. 1975. Reclamation of Wet Forest Soils Subjected to Oil Spills. The University of Alberta. Edmonton, Alberta.

McGill, W.B.; Rowell, M.J.; et Westlake, D.W.S. 1981. «Biochemistry, Ecology, and Microbiology of Petroleum Components in Soil.» Soil Biochemistry. vol. 5. Édité par E.A. Paul et J.N. Ladd. Marcel Dekker, Inc. New York, New York.

Nates. non publié. National Analysis of Trends in Emergencies System. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Nyborg, M., *et al.* 1974. «Methods of Establishing Plant Growth After Heavy Oil Spills.» Proceedings of a Workshop on Reclamation of Disturbed Lands in Alberta. Édité par Drake Hocking et William R. MacDonald. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

Nyborg, M., et McGill, W.B. 1975. «Restoration of Oil Spills on Forest Soils.» Proceedings of the Conference on the Environmental Effects of Oil and Salt Water Spills on Land. pp. 277–290. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

Parkinson, D. 1973. Oil Spillage on Micro-organisms in Northern Canadian Soils. Rapport n° 73-25. Programme écologique et social, Pipelines du Nord, Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Ottawa, Ontario.

———. 1974. Effects of Oil Spillage on Northern Canadian Soils. Rapport n° 74-2. Programme écologique et social, Pipelines du Nord, Groupe de travail sur l'exploitation du pétrole dans le Nord. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Ottawa, Ontario.

Pettigrew, R.K. 1975. «Oil and Salt Water Spills in Canada.» Proceedings of the Conference on the Environmental Effects of Oil and Salt Water Spills on Land. pp. 1–11. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

Purdy, G.A. 1957. Petroleum: Prehistoric to Petrochemicals. Copp Clark Limited. Toronto, Ontario.

Rowell, M.J. 1975. «Restoration of Oil Spills on Agricultural Soils.» Proceedings of the Conference on the Environmental Effects of Oil and Salt Water Spills on Land. pp. 250–276. Alberta Environment Research Secretariat. Edmonton, Alberta.

———. 1977. «The Effect of Crude Oil Spills on Soils—A Review of Literature.» The Reclamation of Agricultural Soils After Oil Spills. Part 1: Research. Édité par J.A. Toogood. The University of Alberta. Edmonton, Alberta.

———. 1980. «Land Cultivation in Cold Regions.» Disposal of Industrial and Oily Sludges by Land Cultivation. Édité par Donald M. Shilesky. Resource Systems and Management Association. Northfield, New Jersey.

Rowell, M.J. et McGill W.B. 1977. Study into the Reclamation of Five Oil Spills in Alberta. Norwest Soil Research Ltd. Edmonton, Alberta.

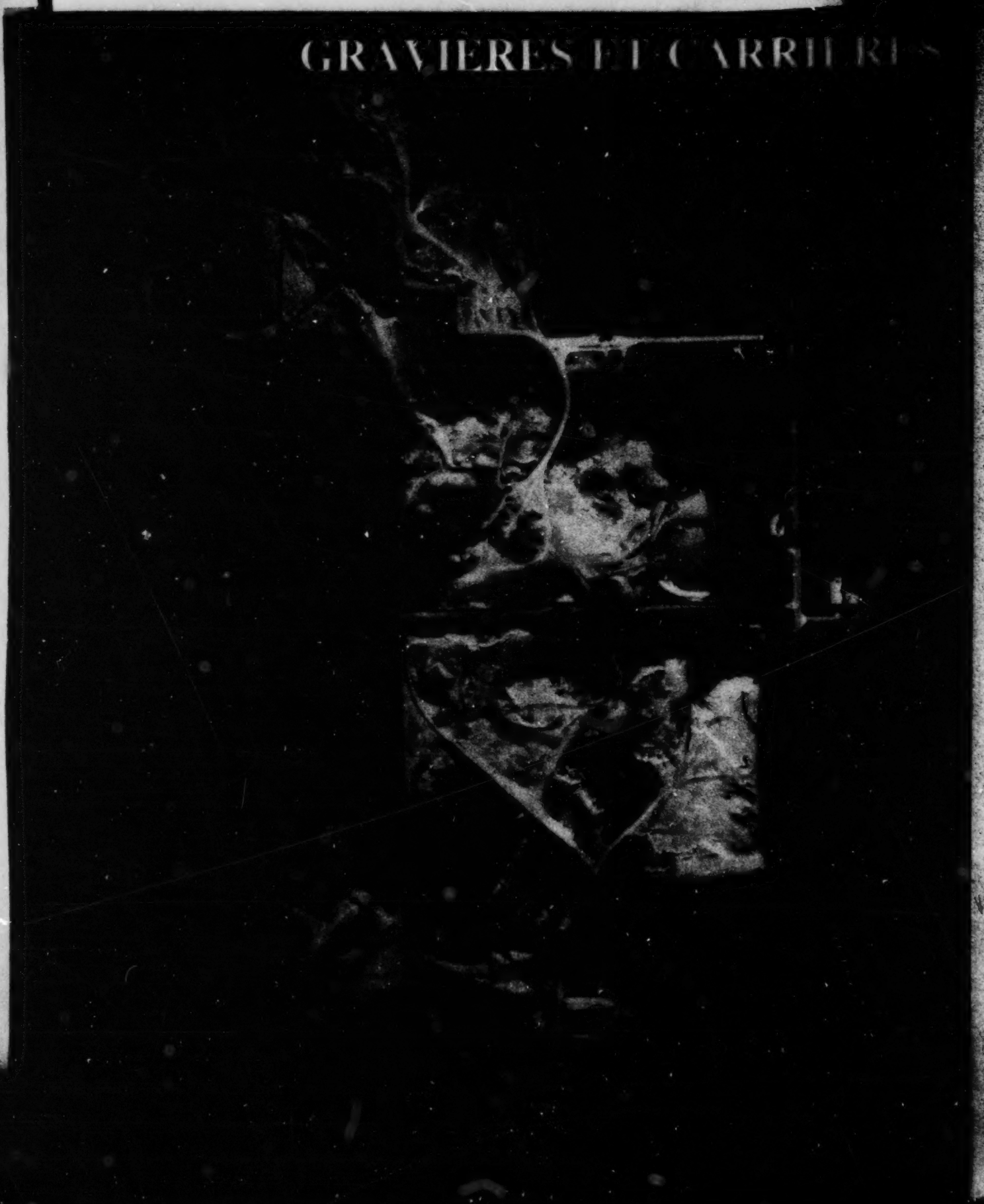
Shaw, D.R. 1975. «The Fate and Effects of Crude Oil on Wildlife.» Industry-Government Spill Seminar: Proceedings. Held June 9, 1975. pp. 103–116. Prairie Regional Oil Spill Containment and Recovery Advisory Committee. Canadian Petroleum Association. Calgary, Alberta.

Simpson-Lewis, W. *et al.* 1979. Les terres de choix du Canada: une étude sélective de l'utilisation des terres dans une perspective nationale. Dossier cartographique n° 4. Direction générale des terres, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Toogood, J.A. 1977. «Groundwater Study.» The Reclamation of Agricultural Soils After Oil Spills. Part 1: Research. Édité par J.A. Toogood. The University of Alberta. Edmonton, Alberta.

Toogood, J.A., et McGill, W.B. 1977. «General Conclusions and Summary.» The Reclamation of Agricultural Soils After Oil Spills. Part 1: Research. Édité par J.A. Toogood. The University of Alberta. Edmonton, Alberta.

GRAVIERES ET CARRIERES



GRAVIÈRES ET CARRIÈRES: RÉPERCUSSIONS SUR LES TERRES ET RESTAURATION DU SITE

A.G. McLellan*

* *Le Professeur McLellan, agrégé en géographie, enseigne à la faculté des Études environnementales de l'Université de Waterloo et est président de Geoconcepts and Earth Resources Development Ltd., Waterloo (Ontario).*

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION, DÉFINITIONS ET POSITIONS ADOPTÉES	199
Introduction	199
Gravières et carrières	199
Détérioration et réaménagement des terres	199
Les sols, ressource fondamentale	200
NATURE DES DÉPÔTS D'AGRÉGATS	200
Origine et caractéristiques des dépôts de sable et de gravier	200
Méthode d'inventaire des dépôts d'agrégats	200
Autres différences entre les ressources	201
RÉTROSPECTIVE DES INCIDENCES DES GRAVIÈRES ET DES CARRIÈRES AU CANADA	201
Les gravières et les carrières des origines à nos jours	201
Vers l'établissement d'un inventaire des gravières et des carrières	202
La dégradation des terres: un méfait inacceptable	204
Effets sur le paysage de l'extraction des agrégats	204
Conflits résultant de l'utilisation des terres	206
Effets secondaires de l'extraction d'agrégats (bruits, poussière et enlaidissement du paysage)	208
RÉDUCTION DES EFFETS DE L'EXTRACTION DES AGRÉGATS GRÂCE À UN AMÉNAGEMENT D'ENSEMBLE BIEN PENSÉ	209
Un énoncé de principe dégageant une tendance aux compromis	209
Importance de la planification et de la participation du public	210
TENDANCES ET PROBLÈMES ACTUELS	213
Problème de l'abandon des terres et de leur réaménagement	213
Méthodes souples - Types de perturbations et certaines solutions de réaménagement	215
Gravières et carrières en zone périurbaine	215
Gravières et carrières dans les zones agricoles rurales éloignées	217
Le Nord canadien – projets différents et impacts différents	222
La planification en fonction des zones d'extraction concentrée d'agrégats	225
EXPÉRIENCE CANADIENNE ET LEÇONS À TIRER – MESURES LÉGISLATIVES	230
Période avant 1970	230
Réactions de la Colombie-Britannique et de l'Ontario aux problèmes des gravières et des carrières dans les années 1970	231
Autres lois se rapportant aux gravières et carrières en Ontario	232
Chevauchement de la législation en Alberta	233
La législation à l'échelon local	234
Le dilemme provincial: les conflits fréquents entre les divers règlements	234
Autres difficultés législatives à divers échelons du gouvernement	236
CONCLUSIONS	237
REMERCIEMENTS	238
ANNEXE I	238
BIBLIOGRAPHIE	239

CARTES

1. État des gravières et des carrières dans la municipalité régionale de Waterloo (Ontario) 214
2. Pourcentage des terres du sud de l'Ontario contenant du sable et du gravier 218
3. Pourcentage des terres du sud de l'Ontario constituées de sols de classes 1 et 2 contenant du sable et du gravier 219
4. Pourcentage des terres de sable et de gravier du sud de l'Ontario constituées par des sols de classes 1 et 2 contenant du sable et du gravier 220
5. Évolution de l'extraction d'agrégats dans l'ancien canton d'Uxbridge (Ontario) entre 1954 et 1966 226
6. Évolution de l'extraction d'agrégats dans l'ancien canton d'Uxbridge (Ontario) entre 1971 et 1980 227
7. Étendue des zones d'extraction d'agrégats existantes (avec permis) ou prévues dans la région de Caledon (Ontario) 228

FIGURES

1. Phases de l'extraction et du traitement des agrégats
   a. Cheminement d'une opération de concassage 205
   b. Cheminement d'une opération d'extraction du sable et du gravier 205
2. Réactions du public aux problèmes posés par l'exploitation de gravières et de carrières
   a. Exemple d'une forme de participation 208
   b. Importance donnée aux problèmes selon les régions 209
   c. Nouveau processus de planification proposé pour l'octroi de permis d'exploitation de gravières et de carrières en Ontario 210
3. Schéma de la restauration progressive d'une terre agricole 222
4. Modèle de réaménagement progressif 223
5. Exemple de l'opposition du public à l'extraction d'agrégats 230
6. Schéma de l'évolution en matière de régénération des terres soumises à l'exploitation minière 236

TABLEAUX

1. Superficie (en hectares) des gravières et des carrières dans l'est du Canada 203
2. Superficie (en hectares) et nombre de gravières et de carrières dans un rayon de 8 km à partir des grands centres dans l'est du Canada 203
3. Éléments pouvant entrer dans un énoncé des incidences environnementales d'une mine à ciel ouvert 211
4. Évolution de l'exploitation et du réaménagement d'une sablière et d'une gravière situées près de London, en Ontario (1973-1979) 222
5. État des dossiers soumis au Conseil des municipalités de l'Ontario 232

INTRODUCTION, DÉFINITIONS ET POSITIONS ADOPTÉES

Introduction

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, les Canadiens sont davantage soucieux de la façon dont leurs ressources sont utilisées, exploitées, régénérées et protégées. Or, la terre est la ressource fondamentale du Canada. Dans le présent chapitre, nous examinerons les incidences de l'extraction des agrégats sur les terres et la façon de réduire ces incidences au minimum.

Par le passé, certains considéraient les propriétaires de gravières, sablières et de carrières comme des capitalistes et des profiteurs de la pire espèce, car leurs exploitations avaient souvent entraîné la destruction totale de vastes étendues du territoire canadien. Il était fréquent que des sols ainsi détériorés deviennent impropres à toute autre utilisation, pour de nombreuses années, et qu'ils offrent à la vue un spectacle affligeant. Mais la situation n'est pas aussi désespérée qu'on pourrait le croire: nombre de gravières, de sablières et de carrières, qui ont été exploitées pour fournir les matériaux de construction nécessaires à l'urbanisation rapide qui a marqué le Canada pendant les trois décennies suivant la guerre, servent maintenant d'autres fins à l'intérieur des limites des zones urbaines. Toutefois, ce changement de vocation ne s'est pas toujours opéré rapidement et sans heurts.

Au cours des années 1980 et suivantes, les gravières, sablières et carrières occuperont encore de grandes superficies, le paysage continuera à subir d'importantes modifications et les gouvernements provinciaux prendront de plus en plus de mesures législatives en cette matière. Cependant, le ralentissement de la croissance urbaine rendra moins rentable l'exploitation de gravières et de carrières en milieu rural, loin des villes, et il ne pourra pas être question de les intégrer aux nombreux projets de réaménagement, tels que création de terrains de jeux, d'écoles, de centres commerciaux et de zones industrielles et commerciales, comme c'est le cas en milieu urbain. En outre, il est probable qu'un public plus averti protestera contre la dégradation des sols et exigera l'efficacité en matière de planification préalable et de restauration des sols. Ce sont là quelques-uns des sujets que nous traiterons dans les pages qui suivent.

Nous verrons aussi comment l'exploitation des gravières, des sablières et des carrières a contribué à la dégradation des terres. Qu'il suffise de dire que la manière irréfléchie dont les mines et carrières ont été exploitées jusqu'ici a été la cause du peu de succès des utilisations ultérieures qu'on a voulu faire des terres. Le manque de données au stade de la planification, la récupération faible ou nulle de la couche arable, la mauvaise planification des utilisations ultérieures des zones touchées et l'inefficacité des méthodes de régénération et de réaménagement ont grandement contribué à la dégradation des terres. Il importe donc que nous continuions de perfectionner les méthodes d'extraction des ressources souterraines et de restauration ultérieure des zones exploitées.

Gravières et carrières[1]

La loi sur les gravières et les carrières (Pits and Quarries Control Act) (1971) de l'Ontario est probablement la loi la plus pertinente au Canada à ce chapitre. Elle contient les définitions suivantes*:

> *«Carrière» désigne un lieu d'où l'on extrait, ou d'où l'on a extrait, à ciel ouvert, de la roche consolidée, pour la construction, la fabrication ou l'industrie, mais non pas une carrière riveraine ou une mine à ciel ouvert;*
>
> *«Gravière» désigne un lieu d'où l'on extrait, ou d'où l'on a extrait, à ciel ouvert, du gravier, de la pierre, du sable, de la terre, de l'argile, des matériaux de remblayage ou d'autres matériaux non consolidés à des fins de construction, de fabrication ou industrielles, mais non pas une carrière riveraine;*
>
> *«Gravière ou carrière riveraine» désigne un lieu d'où l'on extrait, d'où l'on a extrait ou d'où l'on peut extraire ... des agrégats consolidés ou non, dans le cadre d'un projet de travaux publics, et situé hors des limites de l'emprise d'une route ....*

L'extraction du sable, du gravier et de la pierre sous-jacents (appelés collectivement agrégats lorsqu'ils sont destinés à la construction) entraîne en général une modification complète de la surface du sol. Habituellement, la première étape du processus consiste à enlever toute la végétation et à décaper la couche arable et les morts-terrains qui recouvrent les agrégats. Autrefois, on agissait souvent avec négligence: ou bien le précieux sol superficiel était vendu à prix fort, ou bien il était mis de côté sans qu'on tienne compte de ses éléments fertilisants très importants. Une fois la réserve d'agrégats épuisée, le sol superficiel ne pouvait plus être régénéré ou bien il était tellement détérioré par les travaux, un stockage inadéquat ou l'érosion et la négligence, que seuls de coûteux moyens artificiels permettaient sa végétalisation.

Au bout du compte, dans leur désir d'exploiter au maximum les précieuses ressources souterraines, les producteurs d'agrégats ont négligé un aspect important de la question, à savoir la restauration de la couche arable, tout aussi précieuse, pour le bénéfice des générations futures de Canadiens. Par conséquent, si les précautions appropriées ne sont pas prises, l'exploitation des gravières et des carrières pourrait entraîner inévitablement la dégradation des terres.

Dans les zones rurales ou éloignées, les gravières et les carrières sont peu étendues; elles ont habituellement de 1 à 5 ha de superficie, car la demande en agrégats est faible. Toutefois, dans les zones périurbaines, la forte demande en agrégats oblige à exploiter des aires beaucoup plus vastes, dont la superficie varie entre 50 ha et, comme en un certain site au Canada, 600 ha. L'utilisation des terres à une si grande échelle pour l'aménagement de gravières et de carrières représente indéniablement une forte agression.

Détérioration et réaménagement des terres

Une des principales raisons pour laquelle l'exploitation des gravières et des carrières a mis au premier plan la question de l'environnement et des terres, au cours des années 1960, réside dans le fait que les zones minières abandonnées après avoir été exploitées avaient perdu la plus grande partie de leur valeur. À toutes fins pratiques, ces zones constituent des terres détériorées. Pourtant, les auteurs du document peut-être le plus important jamais écrit sur le sujet (United States Department of the Interior Report on Surface Mining and Our Environment), tout en soulignant qu'en 1965, l'exploitation minière à ciel ouvert perturbait 1 300 000 ha dans ce pays et en ayant recours à des termes comme «inesthétique», «repoussant», «rebuts» et «régénération appropriée», ne donnent pas une définition précise du terme «terre détériorée» qu'ils emploient. Ici, nous avons adopté une définition générale du terme, semblable à celle

---

[1] Dans la présente publication le terme «gravières» inclut aussi les «sablières».

* Traduction libre

de l'ancien ministre de la Planification urbaine et rurale de Grande-Bretagne : une terre tellement endommagée ou perturbée par le développement industriel ou autre qu'elle doit être réaménagée pour pouvoir servir de nouveau (Beaver, 1969).

D'un point de vue écologique, nous pourrions dire qu'une terre abandonnée est un lieu où la végétation indigène, les peuplements animaux et presque toute la couche arable ont été éliminés ou détruits. Les terres ayant subi de tels dommages ne peuvent se régénérer complètement par les processus naturels en l'espace d'une vie humaine (Coates et Scott, 1979).

Il est évident que, d'après ces définitions, les terres exploitées ne sont pas toutes détériorées. Mais le potentiel de la plupart d'entre elles a été tellement réduit que nous pouvons affirmer sans risque de nous tromper qu'il s'agit de terres dégradées. Par suite d'une activité minière, même les terres qui ont été traitées avec certains égards ne peuvent jamais reprendre leur aspect initial; c'est souvent là une conséquence néfaste de l'exploitation du sous-sol. Les recherches, la technologie et les lois actuelles devraient cependant aider à prévenir la détérioration d'autres terres. Boivin (1982) a fait valoir un autre aspect de ce problème en soulignant que les carrières abandonnées, que les exploitants n'étaient pas obligés de recouvrir ou de clôturer, étaient encore dangereuses et que les autorités provinciales devraient s'en occuper en priorité. Il donne comme exemple le danger de chutes, de noyades et autres blessures que risquent de subir les humains et les animaux.

Le terme «réaménagement» est peut-être mieux connu dans les domaines de la rénovation domiciliaire et de la planification urbaine où on lui donne pour sens général la remise en état d'une maison ou d'un quartier. Récemment encore, le réaménagement des terres ne se faisait qu'après coup. Aujourd'hui, cependant, les mesures de prévention prennent de plus en plus d'importance et, à l'avenir, le réaménagement des terres sera une mesure prévue au stade de la planification plutôt qu'un remède pour corriger les erreurs passées. C'est sur cette voie que se sont orientées les recherches à la fin des années 1970 (Bradshaw et Chadwick, 1980; McLellan, 1981; Mackintosh et Mozuraitis, 1982).

Dans une publication parue en 1974, la National Academy of Sciences des États-Unis a proposé les définitions suivantes*:

«La restauration implique la reconstitution exacte du milieu perturbé. La restauration intégrale est chose rare, si tant est qu'elle soit possible ...

La régénération implique que les organismes présents dans le milieu avant la perturbation pourront y vivre de nouveau à peu près dans les mêmes conditions de densité et de composition ...

La notion de réaménagement sous-entend que le milieu perturbé retrouvera une forme et une productivité prévues dans un plan précis. Cela suppose une stabilité à peu près permanente, même pendant l'exécution des travaux prévus ... et le maintien de la beauté des paysages environnants. Cela suppose en outre que la vocation choisie pour le milieu est acceptable du point de vue écologique et est profitable pour la société.»

L'exploitation houillère intensive dans la région des Appalaches a entraîné une telle dégradation du paysage que sa remise en état est presque impossible. Il faudrait donc considérer le réaménagement d'un milieu avant même de commencer à le perturber.

Les sols, ressource fondamentale

Même si la Bible prône l'utilisation modérée de la terre et même si celle-ci est essentielle à l'Homme, nous en avons souvent fait un usage irréfléchi. C'est peut-être Aldo Leopold (cité dans Schaller et Sutton, 1978) qui décrit le mieux notre dépendance envers la terre*:

«Jusqu'à ce jour, toutes les morales ont reposé sur un seul axiome: l'Homme fait partie d'un ensemble d'éléments interdépendants. Ses instincts le poussent à lutter pour se faire une place dans cet ensemble, mais sa morale lui donne un esprit de collaboration - peut-être pour assurer qu'il y aura effectivement une place à convoiter. Cette morale permet simplement d'inclure dans cet ensemble les sols, les eaux, les végétaux et les animaux ou, collectivement, la Terre.»

La Terre devient donc le siège des relations écologiques entre l'Homme et les autres créatures inertes et animées. Aujourd'hui, nous sommes davantage préoccupés par la conservation du milieu, nous sommes conscients d'avoir gaspillé les richesses naturelles, et l'utilisation inconsidérée des terres n'est plus acceptable.

Au Canada, les règlements relatifs à la planification sont conçus de manière à éviter au capital foncier de subir les divers dommages dont il est menacé. En effet, au cours des vingt dernières années, les propriétaires fonciers ont perdu peu à peu leur droit de disposer comme ils l'entendent de «leurs terres». Il semble qu'on ait réussi à leur faire prendre conscience de leurs responsabilités, même s'ils ne partagent pas tous cette nouvelle façon d'envisager l'aménagement du territoire. À l'avenir, l'intérêt des citoyens et des gouvernements devrait être dirigé vers le maintien, pour les générations futures, de terres productives où pourront s'épanouir toutes les formes de vie et où s'accompliront les autres activités nécessaires au bien-être national.

NATURE DES DÉPÔTS D'AGRÉGATS

Origine et caractéristiques des dépôts de sable et de gravier

Bien que tous les dépôts de sable et de gravier soient le résultat de la météorisation ou de la dégradation générale des roches se trouvant à la surface de la Terre, ce sont les eaux d'origine fluvio-glaciaire, fluviale et marine qui leur donnent leurs caractéristiques actuelles. La diversité des conditions qui ont présidé à leur formation fait qu'aucun dépôt de sable ou de gravier n'est exactement pareil aux autres. Le relief et les formes du terrain, les teneurs en sable et en gravier, les impuretés, les types de roches et l'importance du tassement sont tous des facteurs importants pour l'exploitation commerciale des dépôts de sable et de gravier et peuvent tous être expliqués par l'étude de l'origine de ces dépôts.

Au Canada, la très grande majorité des dépôts de sable et de gravier se sont formés au début des périodes de fonte et de fusion sur place des calottes glaciaires. Pendant ces périodes, les eaux de fonte qui s'écoulaient par torrents ont donné naissance à de grandes couches de sable et de gravier, généralement appelées *dépôts fluvio-glaciaires*.

Ces dépôts, très répandus, sont souvent à l'origine des deux autres grands types de dépôts. Donc, au deuxième rang, viennent les *dépôts alluviaux*, qui proviennent en grande partie de l'érosion des dépôts fluvio-glaciaires. Mais ceux-ci possèdent leurs propres caractéristiques, car ils ont pris naissance, pour une faible part, dans des cours d'eau.

Les dépôts *marino-lacustres*, troisièmes en importance, tirent leur origine des dépôts fluvio-glaciaires ou alluviaux, ou des deux à la fois. Ils possèdent cependant un important trait distinctif : pendant la dernière phase de leur formation, les matériaux riverains ou côtiers ont été soumis aux conditions de leur milieu respectif. On peut encore trouver ces dépôts au bord des masses d'eau, où ils ont été mis à découvert par suite d'une baisse du niveau de l'eau des lacs de barrage glaciaire ou par suite du soulèvement isostatique de leurs rives.

Méthode d'inventaire des dépôts d'agrégats

Anciennement, l'inefficacité des règlements sur la planification et l'attitude irréfléchie des exploitants ont laissé des séquelles dues à l'exploitation peu judicieuse de dépôts de moindre importance, qui étaient moins étendus ou moins homogènes que prévu ou dont les matériaux ne répondaient pas aux exigences du marché. Il est à présent reconnu - et c'est même une

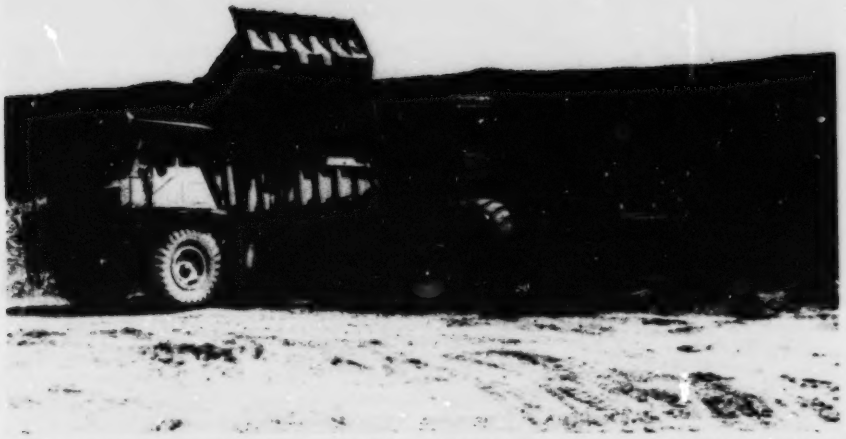


Photo 1. Les coûts d'investissement dans les gravières et les carrières se sont accrus considérablement au cours des quinze dernières années. La chargeuse frontale et le camion qui apparaissent sur cette photo coûtent environ un demi-million de dollars, et un exploitant peut posséder plusieurs véhicules de ce genre. L'emploi d'un matériel lourd comme celui-ci sans silencieux dérange les habitants du voisinage, qui se plaignent du bruit et de la poussière.
A.G. McLellan

exigence prévue dans les processus détaillés d'approbation des plans d'aménagement - que tout projet d'exploitation de dépôts de sable et de gravier doit prévoir l'inventaire complet des ressources.

Or la meilleure façon de dresser un inventaire consiste à effectuer des relevés géologiques (des matériaux consolidés) ou géomorphologiques (des matériaux non consolidés) par la photographie aérienne et les études sur le terrain. Ces relevés fournissent au producteur d'agrégats des données essentielles sur l'étendue du dépôt, les variations de son épaisseur, le relief (formes de terrain), la proportion de sable et de gravier selon la granulométrie, la présence de corps nuisibles (p. ex., mousse, bandes de limon et d'argile et lentilles de till) et les divers types de roches (p. ex., indice de tassement par séchage et présence ou absence de types de roches inférieures, de charbon, de grès friable, de boules d'argile, de schistes argileux et d'argilotites). Ces données, le plus souvent non fournies par les sources connues, sont très utiles pour la mise en place et l'exploitation sensées d'installations d'extraction.

L'étude des lieux, suivie au besoin de carottages et d'analyses souterraines par résistivité électrique, permet de déterminer non seulement l'étendue mais aussi le volume des dépôts présents. La profondeur, l'étendue, la morphologie et la composition des dépôts de sable et de gravier fluvio-glaciaires dépendent de la nature du milieu où ils se sont formés, pendant la fonte des glaces.

D'autres sources de données - cartes de formations géologiques du Pléistocène, photographies aériennes, rapports d'études de sol et inventaires des ressources des régions - sont utiles, mais pas autant que les analyses détaillées dont il vient d'être question (McLellan, 1969; 1975).

Il importe de réaliser qu'un inventaire adéquat peut permettre de réduire les agressions par une planification bien pensée, et de réduire au minimum les conflits possibles entre les producteurs d'agrégats, les futurs utilisateurs des terres et le grand public.

Autres différences entre les ressources

Le sable et le gravier sont habituellement moins coûteux et plus recherchés que la pierraille, car ce sont des matériaux non consolidés, leur extraction ne nécessite aucun dynamitage, leur manutention est plus facile et ils produisent généralement des agrégats commerciaux d'aussi grande qualité que la pierraille. Mais, normalement, les agrégats qu'ils produisent ne contiennent pas plus de 30 à 40 % de pierres (c.-à-d. des particules d'un diamètre supérieur à 6,3 mm, qu'on appelle généralement du gravier). Puisque les acheteurs demandent des agrégats d'une teneur en sable et en gravier beaucoup plus proche de 50 %, la différence est comblée par l'ajout de pierraille, qui peut théoriquement produire des agrégats contenant uniquement de la pierre (gravier), mais à un coût plus élevé.

Dans de nombreuses régions du Canada, l'utilisation de la pierraille permet de compenser les pénuries de sable et de gravier. Les roches stratigraphiques, qui peuvent facilement être réduites en particules d'une dimension propice au traitement (p. ex., les calcaires et les dolomites), ont la préférence des exploitants. Mais les roches volcaniques et les pièges rocheux produisent souvent des agrégats très résistants. Aujourd'hui, les sommes investies étant supérieures, la carrière commerciale moyenne a tendance à être plus importante que la sablière et la gravière, tant par ses dimensions que par sa production annuelle.

RÉTROSPECTIVE DES INCIDENCES DES GRAVIÈRES ET DES CARRIÈRES AU CANADA

Les gravières et les carrières des origines à nos jours

Pour remonter aux premières influences des gravières et des carrières sur le paysage, il faut remonter aux débuts de la civilisation. Les révolutions industrielles et technologiques du siècle actuel et du siècle précédent ont accru cette influence démesurément. Au Canada, les gravières et les carrières n'ont d'abord touché que les sites des grands programmes de construction. Les travaux d'aménagement du Fort Louisbourg, du canal Rideau et, antérieurement, du canal Welland ont tous laissé des séquelles. Même la réalisation des premiers monuments de pierres, comme le monument Brock à Queenston Heights, dans la péninsule de Niagara, a nécessité l'abattage de la pierre en carrière dans les localités voisines.

Au Canada, à la fin du XIX^{e} siècle et au début du XX^{e} siècle, la production d'agrégats a laissé de plus en plus de traces tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des limites des villes en pleine croissance. L'augmentation du nombre de véhicules nécessitait la construction de routes plus durables, à surface métallisées, macadamisées et, plus tard, asphaltées et bétonnées, et, donc l'utilisation de roches, de gravier et de sable. Mais on se préoccupait rarement des conséquences environnementales de l'exploitation des gravières et des carrières; au contraire, celle-ci était probablement considérée comme un élément essentiel de la modernisation. À cette époque, aucune loi ne faisait obstacle à la recherche effrénée du profit, et le public, indifférent aux questions environnementales, ne s'y opposait pas non plus.

Jusqu'aux environs de 1950, la demande d'agrégats était limitée car le développement urbain et technologique était relativement lent. Mais la situation a changé pendant les deux décennies suivantes avec l'urbanisation - accroissement constant de la population urbaine – la croissance industrielle et celle des transports. De plus en plus d'exploitants de gravières et de carrières, toujours plus grands, ont commencé à se disputer l'espace en périphérie des villes. Ainsi, vers 1980, les petits entrepreneurs et fermiers

Photo 2. Les gravières et les carrières font partie du paysage canadien depuis longtemps. Cette photo, prise en 1898, qui représente la carrière Stewart, située près de Rockland, en Ontario, montre à quel point le milieu a été perturbé, même sans l'aide d'un matériel d'extraction moderne.
PA-51315/Collection de la Commission géologique du Canada, Archives Publiques Canada

abandonnaient les puits de gravier qu'ils exploitaient dans les zones urbaines pour en exploiter d'autres dans l'arrière-pays. McLellan a résumé ainsi les problèmes qui ont marqué cette période*:

«L'exemple de l'Ontario est peut-être le meilleur que nous ayons, car il illustre les principaux éléments du problème. Dans cette province, l'industrie des agrégats est l'une des plus importantes et des plus dynamiques du secteur primaire. Les excavations sont souvent peu profondes - rarement plus de 50 à 60 pi (15 à 18 m) de profondeur -, contrairement à celles pratiquées au cours des opérations minières dans la roche dure. Elles occupent donc de grandes superficies et ont un impact considérable.

Vu que les matériaux extraits (c.-à-d. le sable, le gravier et la pierraille) sont encombrants, peu coûteux et difficiles à transporter, la plupart des producteurs ont tendance à concentrer leurs opérations tout près de leurs marchés, qui sont surtout urbains. Et la superficie des zones d'extraction augmente car la construction des routes et des bâtiments nécessite de plus en plus de ces matériaux. Cela signifie l'expansion de cette activité dans la partie la plus peuplée et la plus exploitée de cette province, le Sud, contrairement aux opérations minières dans la roche dure, qui sont concentrées dans sa partie septentrionale. Par conséquent, l'industrie des agrégats s'insère dans un marché très concurrentiel dans une région où le prix des terres est très élevé. Sans compter que les puits d'extraction et les carrières, concentrés autour des villes, sont très visibles.

À la fin des années 1960, une mauvaise planification et les contraintes strictes imposées en application du chapitre 249 de la loi sur les municipalités (Municipal Act) et du chapitre 296 de la loi sur l'aménagement du territoire (Planning Act) ont entraîné la réduction et, en réalité, l'abandon des activités d'extraction dans de nombreuses parties du sud de l'Ontario. Bien que d'importantes réserves d'agrégats aient été exploitées jusqu'à épuisement et aient été rendues inexploitables autour des villes en pleine croissance par un aménagement immobilier trop hâtif, le problème majeur est, à l'heure actuelle, et de loin, le bâillon législatif imposé à cette industrie. C'est là le noeud de la crise que traverse l'industrie des agrégats en Ontario. Il est intéressant de voir le conflit d'intérêts que représente, d'une part, la préoccupation croissante du public pour la qualité de l'environnement, surtout en bordure des agglomérations urbaines, et, d'autre part, la pénurie résultante des ressources nécessaires à une industrie qui doit être très dynamique pour répondre à la demande du public» (McLellan, 1975).

Vers l'établissement d'un inventaire des gravières et des carrières

Faute de données statistiques fiables, il est difficile d'évaluer avec précision les incidences de la production d'agrégats sur les terres au Canada. Seulement quelques municipalités [Saint-Jean (Nouveau-Brunswick); Sault-Sainte-Marie (Ontario)] et quelques provinces [p. ex., Hora et Basham, 1981 (Colombie-Britannique) et le ministère de l'Énergie et des Mines du Manitoba (1981)] ont tenté de fournir des statistiques à ce sujet. Cette industrie étant une affaire provinciale, elle n'a fait l'objet d'aucune étude fédérale. Même à la fin des années 1970, seulement Thirgood, fort d'une expérience personnelle considérable, pouvait se hasarder à traiter des effets de tous les types d'exploitation minière à ciel ouvert sur les terres à l'échelle nationale (Schaller et Sutton, 1978).

Le document le plus récent et le plus utile sur les incidences des gravières et des carrières au Canada est une publication d'Environnement Canada : L'exploitation minière, l'utilisation des terres et l'environnement : un aperçu général au Canada, Marshall (1983*a*). L'auteur affirme que, même en 1982, il existe trop peu de données sur le nombre, l'étendue et l'emplacement des gravières et des carrières, y compris les sites abandonnés, pour pouvoir juger de l'envergure exacte de l'industrie canadienne des agrégats. Précédemment, en 1977, dans le cadre d'une étude d'Environnement Canada, on avait dressé un inventaire limité des gravières et des carrières de l'est du Canada afin de déterminer l'importance de l'industrie des matériaux de construction au Canada (tableaux 1 et 2).

«L'inventaire a porté plus particulièrement sur les sites de l'Ontario, du Québec, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse, de l'Île-du-Prince-Édouard et de Terre-Neuve qui, globalement, représentaient 78 p. cent de la production des granulats au Canada et étaient situés près des centres comptant plus de 500 habitants. Les carrières de sable et de gravier constituaient plus de 90 p. cent des 4 997 exploitations recensées. Ce chiffre englobait les sites actuellement en exploitation ainsi que les sites fermés temporairement ou abandonnés. Quatre-vingt-un pour cent des sites étaient situés en Ontario et au Québec. Soixante-huit pour cent des sites étaient situés dans un rayon de 8 km autour d'un centre densément peuplé et 46 p. cent dans un rayon de 5 km [tableaux 1 et 2]. Il n'y avait que 36 exploitations de chaux et de ciment au Canada en 1978 qui tiraient leurs matières premières de leurs propres carrières. Les autres faisaient appel pour leur approvisionnement à d'autres carrières indépendantes» (Marshall, 1983*a*).

Boivin (1982), qui a effectué récemment une étude dans le sud du Québec, a découvert qu'il y avait plus de puits à ciel ouvert et de carrières abandonnés (respectivement 178 et 35) qu'il y en avait d'exploités (108 et 9). À partir d'un classement par secteurs, différent de celui de Marshall, il a constaté que les emplacements abandonnés se répartissaient de la manière suivante : 39 en milieu urbain, 27 en milieu périurbain, 149 dans les terres agricoles rurales et 42 dans les terres forestières rurales. Nous reviendrons plus loin sur cette répartition.

Au Canada, le nombre de terres perturbées ou laissées abandonnées par suite de l'extraction d'agrégats destinés à la construction est au moins égal, sinon supérieur, au nombre de terres perturbées par toutes les autres formes d'exploitation minière. Dans l'étude mentionnée ci-dessus, Marshall (1983*a*) a tiré les conclusions suivantes :

> *«...34 072 hectares de sol avaient été perturbés par les quelque 4 997 sites exploités, pour une perturbation moyenne de 6,8 hectares (6,1 hectares pour le sable et le gravier; 16,7 hectares pour les carrières)... Plus de 80 p. cent des emplacements se trouvent en Ontario et au Québec, et les terres touchées représentent une superficie de 30 832 hectares dont 20 916 ha en Ontario.*
>
> *Des études plus détaillées dans les comtés et les municipalités, effectuées par les provinces de la Nouvelle-Écosse et de l'Ontario, laissent croire que les chiffres ci-dessus ne représentent qu'une partie de la superficie totale perturbée. Les carrières et sablières du comté de Colchester, en Nouvelle-Écosse, n'ont pas été incluses dans l'inventaire d'Environnement Canada; pourtant, un relevé provincial (Simmons, 1971) a identifié 126 carrières couvrant une superficie de 455 hectares....*
>
> *L'Ontario Mineral Aggregate Working Party (1977) indiquait que des permis n'avaient été accordés que pour seulement 1 200 carrières et sablières dans les trois régions du sud de l'Ontario désignées en vertu de la Loi de 1971 sur la réglementation des carrières. La superficie couverte est de 11 534 hectares, avec une perturbation moyenne de 9,7 hectares. Si toutes les terres des trois régions avaient été désignées en vertu de la Loi, le nombre de carrières et sablières serait passé à 2 100 et aurait touché, selon les estimations, 20 396 hectares. Ce rapport ne donnait pas de chiffres sur les carrières et sablières abandonnées ou exploitées précédemment sans permis (avant 1971), ni sur les régions non désignées en vertu de la Loi dans le nord de l'Ontario.*
>
> *En 1977, des estimations faites par le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario établissaient que 1 497 carrières et sablières étaient exploitées avec permis en vertu de la Loi susmentionnée, et que de 2 893 à 2 943 autres ne détenaient pas de permis au titre de la Loi intitulée Mining Act on Crown Lands. Si le chiffre sur la perturbation moyenne provenant de l'étude d'Environnement Canada (6,8 hectares) est utilisé, l'estimation globale de la superficie totale des terres perturbées par les car-*

TABLEAU 1.

Superficie (en hectares) des gravières et des carrières dans l'est du Canada

Région	Superficie totale perturbée	Sablières et gravières		Carrières et mines à ciel ouvert	
		Superficie perturbée	Superficie moyenne des puits	Superficie perturbée	Superficie moyenne des puits
	(les superficies sont en hectares)				
Nord de l'Ontario	2 658	2 561	10,4	97	19,4
Ouest de l'Ontario	6 610	5 667	6,7	943	24,8
Centre de l'Ontario	6 820	5 680	9,1	1 140	18,1
Est de l'Ontario/ vallée de l'Outaouais	4 836	3 935	4,2	901	10,7
Nord-ouest du Québec	452	446	3,5	6	3,0
Québec: vallée du Saint-Laurent et Cantons de l'Est	8 821	7 310	6,6	1 511	17,5
Québec–Bas Saint-Laurent	643	643	3,9	–	–
Nouveau-Brunswick	729	622	3,0	107	5,9
Nouvelle-Écosse	1 768	904	4,3	864	29,8
Île-du-Prince-Édouard	400	400	3,5	–	–
Terre-Neuve	335	268	3,1	67	5,1
TOTAL	34 072	28 436	7,3	5 636	16,7

Source: Marshall, 1983*a*.

TABLEAU 2.

Superficie (en hectares) et nombre de gravières et de carrières dans un rayon de 8 km à partir des grands centres dans l'est du Canada

Région	Distance par rapport à un grand centre					
	0,16 km		0,16–4,8 km		4,8–8 km	
	Superficie (en hectares)	Nombre de gravières et de carrières	Superficie (en hectares)	Nombre de gravières et de carrières	Superficie (en hectares)	Nombre de gravières et de carrières
Nord de l'Ontario	28	2	1 641	123	565	55
Ouest de l'Ontario	1 171	54	3 461	405	648	111
Centre de l'Ontario	773	70	2 774	350	1 482	253
Est de l'Ontario/vallée de l'Outaouais	528	62	2 035	438	602	140
Nord-ouest du Québec	6	1	118	34	116	23
Québec: vallée du Saint-Laurent et Cantons de l'Est	889	56	2 927	320	1 782	226
Québec/Bas Saint-Laurent	52	3	269	71	53	29
Nouveau-Brunswick	45	12	307	91	105	34
Nouvelle-Écosse	44	9	755	61	163	274
Île-du-Prince-Édouard	10	3	75	31	19	4
Terre-Neuve	29	8	163	54	29	11
TOTAL	3 575	280	14 525	1 978	5 564	1 160

Source: Marshall, 1983*a*.

rières en Ontario dépasse 39 000 hectares (96 370 acres).

Suite aux résultats du Working Party, le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario a subventionné deux autres études en vue de quantifier avec plus d'exactitude l'étendue de terrains perturbés et remis en état jusqu'à présent sur une région plus vaste, incluant les comtés de Brant et Wellington, et les municipalités régionales de Durham, Halton et Peel. Ces études ont identifié 258 emplacements, représentant une superficie de 10 294 hectares; cependant, les enquêtes ont été limitées aux carrières et sablières exploitées avec permis (Coates et Scott, 1979). On a constaté que 33 p. cent des sites avaient été l'objet d'une remise en état partielle, graduelle ou entière. En outre, des travaux préliminaires de terrassement avaient été entrepris pour la remise en état d'une autre tranche de 10,9 p. cent. Le chiffre pour les mêmes comtés et municipalités selon l'étude d'Environnement Canada, est de 6 567 hectares pour les terrains perturbés et partiellement remis en état. L'étude détaillée de Coates, avec vérifications sur le terrain, révèle toutefois de façon plus précise la véritable situation dans les deux comtés et les trois municipalités. Mais même ces chiffres sont bas puisqu'ils excluent les exploitations abandonnées qui n'avaient pas de permis ainsi que les ballastières en bordure de route....

Le recoupage des données pour l'Ontario indique que l'étendue des terrains perturbés par les exploitations de sablières et de carrières a été beaucoup plus importante qu'on le soupçonnait, surtout en ce qui concerne le total cumulatif de la période précédant la Loi de 1971. La situation est assez semblable dans toutes les provinces, puisque c'est l'Ontario qui, la première, adopta une loi en 1971 pour essayer de contrôler de façon exclusive les carrières et d'en imposer la remise en état. L'Alberta emboîta le pas en 1973 avec la Land Surface Conservation and Reclamation Act. Confronté avec la même prolifération et le même manque de contrôle que ceux qui sévissaient dans le sud de l'Ontario, le Québec adoptait en 1977 des règlements spéciaux (règlements sur les carrières et sablières au titre de la Loi de la qualité de l'environnement).

On ne possède que peu d'informations comparables pour les provinces de l'Ouest; on constate cependant qu'entre 1945 et 1975, dans un rayon de 48 km (30 milles) autour de Winnipeg, l'étendue des terrains perturbés par l'exploitation de carrières est passée de 790 à 2 466 hectares, soit une moyenne de 56 hectares par année (RPC Ltd., 1975). En Saskatchewan, il y avait, en 1975, 815 permis émis, représentant 16 387 hectares de terres de la Couronne. Plus de 80 p. cent des carrières ont été utilisées par le ministère de la Voirie (Poliquin, 1977). La superficie réelle des terrains perturbés par l'extraction de sable, de gravier et d'argile était de 10 926 hectares (Land Use Policy Committee, 1978). La superficie perturbée en Alberta s'élevait à 9 090 hectares en 1977, avec une augmentation prévue de 4 545 hectares (Thirgood, 1978).

À la lumière de ces informations, ainsi que des chiffres de la production annuelle pour les matériaux de construction, de la consommation par habitant (13 tonnes par année) et de la répartition de la population, l'estimation approximative de la superficie minimale perturbée par la production de matériaux de construction au Canada (à l'exclusion des Territoires) est de 120 000 hectares» (Marshall, 1983*a*).

L'augmentation réellement considérable du nombre et de l'étendue des gravières et des carrières notée par Marshall résulte de l'essor phénoménal qu'a connu notre pays au cours des années 1960 et au début des années 1970. Proctor et Redfern, qui ont établi des prévisions pour le gouvernement de l'Ontario au milieu des années 1970, ont prédit qu'en l'an 2000, les réserves d'agrégats de cette province seraient épuisées. Mais ce pronostic est déjà contesté. En effet, la récession mondiale a ralenti considérablement le taux de croissance du Canada, de sorte que la demande en agrégats a beaucoup diminué. En ce qui concerne l'Ontario, les dernières statistiques révèlent que la diminution de la demande qui a suivi le sommet atteint au milieu des années 1970 se poursuivait toujours en 1980 et 1981.

L'expansion s'est cependant poursuivie en certains endroits, généralement en Alberta et surtout près de Calgary et d'Edmonton, où la construction battait toujours son plein à la fin des années 1970. Et elle continue encore là où l'exécution de mégaprojets, comme les programmes de construction de pipelines, de centrales nucléaires et d'aéroports, continuent de créer une forte demande locale en agrégats. Mais, en toute honnêteté, il faut dire que la demande en agrégats a connu une baisse importante, même dans ces endroits.

«Le United States Bureau of Mines (1976) prévoit un taux de croissance annuelle de 2,8 p. cent pour le sable et le gravier et de 3,2 p. cent pour la pierre concassée entre 1973 et l'an 2000. Étant donné que la demande par habitant du Canada pour ces matériaux est comparable, ces chiffres peuvent être utilisés à titre de comparaison. Pour des taux de croissance annuelle similaire au Canada, cela signifierait une augmentation de la production du sable et du gravier de 327 à 568 millions de tonnes entre 1980 et 2000» (Marshall, 1983*a*).

Compte tenu de la situation décrite ci-dessus et de la baisse de la production dans la plupart des provinces entre 1976 et 1982, il ne faudrait pas accorder trop de crédit à ces prévisions.

La dégradation des terres: un méfait inacceptable

Il est évident que l'exploitation des gravières et des carrières a énormément dégradé les terres canadiennes. Cette influence a varié, et continue de varier d'une province à l'autre, mais on en est venu à la considérer comme un mal nécessaire caractérisé par la dégradation du paysage et des bonnes terres agricoles, les effets négatifs sur le milieu et l'incompatibilité entre les objectifs de préservation de l'environnement et de l'industrie des agrégats. Mais l'ancienne tendance à la surexploitation des terres, ressources naturelles importantes, est désormais inacceptable.

Effets sur le paysage de l'extraction des agrégats

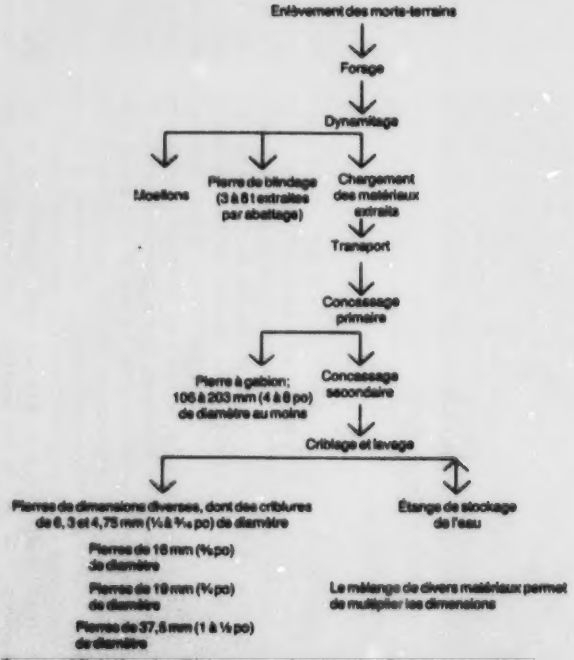
Les étapes des méthodes modernes d'extraction des agrégats à grande échelle ont tendance à suivre celles montrées par les organigrammes des figures 1*a* et 1*b*. Pour extraire les agrégats, il fallait enlever la végétation, la couche arable et les morts-terrains qui les recouvraient; c'était là le principal effet de cette opération. Et on l'a souvent menée avec peu de discernement, sans penser sérieusement à utiliser le bois pour la fabrication de pieux de clôtures, le chauffage ou d'autres applications commerciales. Jusqu'à récemment, par comparaison, le précieux sol superficiel, si essentiel au réaménagement, était vendu ou mal stocké. De plus, on ne se préoccupait guère du milieu naturel, qui subissait des attaques risquant d'avoir des effets désastreux, surtout là où les espèces animales ou végétales étaient déjà rares ou en danger. Les habitants des lieux, observant la destruction de paysages familiers, exprimaient à voix haute leur mécontentement, mais souvent trop tard.

L'exploitation minière à ciel ouvert a parfois porté tort à la quantité et la qualité des eaux superficielles et souterraines. Des cours d'eau se sont asséchés, ont été dérivés ou ont disparu par suite de leur envasement, entraînant des conséquences irréversibles sur la vie des poissons et autres organismes aquatiques. L'utilisation excessive de l'eau et le pompage des surplus d'eau engendrés par l'extraction des agrégats, en particulier dans les carrières, ont causé par endroits l'abaissement de la nappe phréatique et, par suite, réduit l'approvisionnement des puits domestiques et menacé les fermes qui comptent sur un approvisionnement continuel en eau (p. ex., les fermes d'élevage, les visonnières et les fermes qui dépendent de l'irrigation).

Phases de l'extraction et du traitement des agrégats

FIGURE 1*a*.

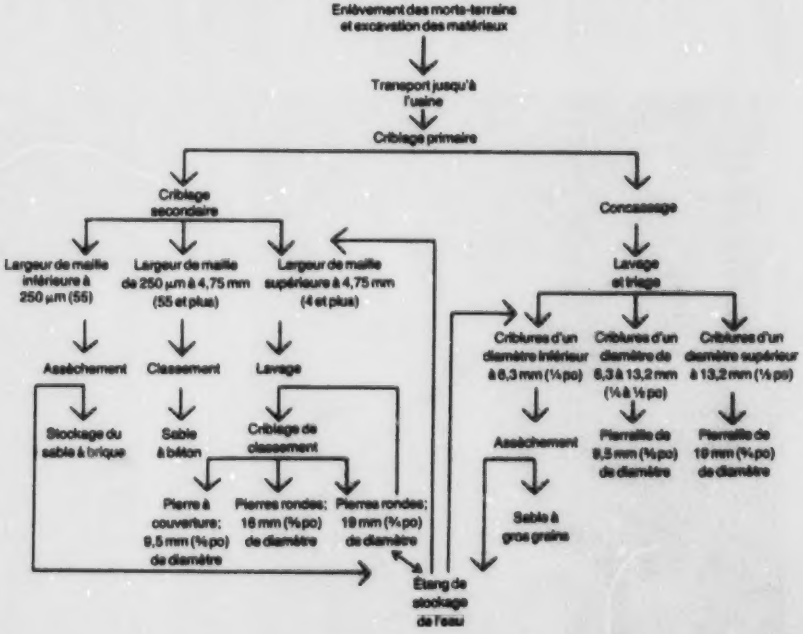
Cheminement d'une opération de concassage



Source : Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, sans date.

FIGURE 1*b*.

Cheminement d'une opération d'extraction du sable et du gravier



Source : Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, sans date.

Photo 3. Malheureusement, l'extraction, même temporaire, d'agrégats entraîne la détérioration de certaines autres ressources, comme les boisés, la faune et des paysages attrayants. Autrefois, on ne s'est pas suffisamment préoccupé de réaménager les emplacements exploités pour leur redonner leur vocation originale ou une autre utilité appropriée.
A.G. McLellan

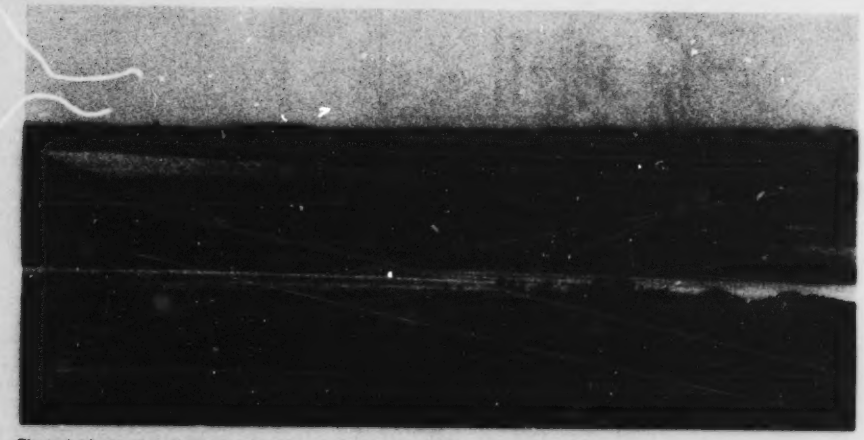


Photo 4. L'extraction d'agrégats détériore grandement le paysage. Les grues à benne traînante peuvent servir à extraire le gravier jusqu'à une profondeur de 11 m au-dessous de la nappe phréatique. Entre la phase de l'extraction et celle du traitement, les amoncellements de matériaux déparent le paysage.
A.G. McLellan

Le compactage des sous-sols et des digues de drainage résultant de l'aménagement de routes de transport et de bassins de sédimentation est une autre conséquence de l'extraction des agrégats qui peut nuire à la croissance végétale.

L'étude de Marshall (1983*a*) révèle les véritables conséquences de l'exploitation des gravières et des carrières sur l'ensemble du paysage de l'Ontario, mais elle ne donne pas leur mesure à l'échelle locale. Les gravières et les carrières peuvent être de petites excavations de moins d'un hectare (de nombreux fermiers ont aménagé de petites excavations qui servent seulement à l'exécution de travaux de construction locaux). Petites, celles-ci sont rarement plus profondes que le niveau de la nappe phréatique; elles ont peu d'effets sur le paysage, et il serait facile et peu coûteux de les réaménager pour l'agriculture. En revanche, les lieux d'extraction à grande échelle nécessitent en général la construction de nombreux bâtiments et installations de traitement, l'aménagement de dépôts, de matériaux et de bassins de sédimentation, ils engendrent une pollution due à la forte circulation de poids lourds, à la poussière, etc. et causent généralement d'autres perturbations s'ils se trouvent dans des zones résidentielles. Ils peuvent être vastes: les emplacements d'une superficie de 100 ha ne sont pas rares, mais l'auteur en connaît beaucoup qui dépassent 200 ha, et même un de plus de 600 ha. La production annuelle d'agrégats dépasse souvent un million de tonnes, dont l'extraction nécessite l'emploi d'eau de puits normalement recyclée, de vastes bassins de sédimentation et d'imposants dépôts pyramidaux de matériaux. Les fronts d'abattage abrupts, les excavations profondes (parfois remplies d'eau) résultant de l'extraction de matériaux à l'aide de grues à benne traînante à un niveau inférieur à celui de la nappe phréatique et les autres caractéristiques des grandes installations commerciales font que les gravières et les carrières sont considérées, souvent à juste titre, des obstacles considérables à une vie paisible en milieu rural. Le fait que les grandes entreprises commerciales établies sur des réserves de 30 à 60 millions de tonnes d'agrégats ne sont qu'un mal «temporaire», appelé à durer encore pendant 20 à 50 ans, ne rassure pas pour autant les habitants des régions touchées.

La production d'agrégats perturbe le milieu physique et a des effets très visibles qui n'ont jamais été faciles à corriger. C'est pourquoi le grand public l'accepte plus difficilement que de nombreuses autres agressions.

Conflits résultant de l'utilisation des terres

En périphérie des villes, leur milieu de prédilection, les gravières et les carrières sont souvent les «taches» les plus visibles et, donc, les moins agréables aux yeux du public et des pouvoirs municipaux.

D'après une étude effectuée en 1971 dans la région de Waterloo (Ontario), l'extraction des agrégats était considérée comme la principale utilisation des terres après, d'une part, l'agriculture, et, d'autre part, toutes les autres utilisations urbaines combinées; sans compter qu'on la rendait responsable de la majeure partie de la destruction des terres - 93 % de tous les cas de destruction et 75 % de la superficie détruite (McLellan, 1973). Ces données doivent semer la consternation chez ceux qui s'intéressent à l'agriculture et à la production alimentaire au Canada. Jusqu'à la fin des années 1970, et encore aujourd'hui, les zones consacrées à l'extraction des agrégats étaient considérées comme irrécupérables pour l'exploitation agricole. On peut trouver de nombreux exemples de terres agricoles transformées en gravières, puis abandonnées, et dont la remise en état est impossible sans l'adoption de correctifs coûteux. De plus, par leur aspect même, ces lieux incitent souvent à en faire des décharges illégales, à l'insu de leurs propriétaires. Même s'ils sont lentement envahis par les mauvaises herbes et les arbustes, ils ne redeviennent pas pour autant des terres agricoles. Un autre aspect de la question est peut-être encore plus important: de vastes zones où l'extraction d'agrégats est autorisée

sont inaccessibles, même temporairement, à l'agriculture dans les parties du Canada fortement peuplées et soumises à une exploitation agricole intensive comme le corridor Montréal-Windsor, le sud de la partie continentale de la Colombie-Britannique et les environs des grands centres comme Edmonton, Winnipeg, etc. Les législateurs devraient peut-être prescrire l'extraction progressive et le réaménagement en vertu du principe qu'il faut perturber le moins d'espace possible. Les méthodes de planification modernes devraient permettre, à n'importe quel moment, de consacrer à l'agriculture au moins 150 à 180 ha d'une gravière d'une superficie de 200 ha. Dans le même ordre d'idées, le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario a émis des directives en février 1983 en vue de protéger les cultures destinées à la production d'aliments spéciaux et les terres agricoles de grande qualité.

Plus récemment, toutefois, l'expérience a montré que l'emploi de méthodes de réaménagement calculées peut permettre de réaménager entièrement une terre agricole, une fois terminée la production d'agrégats. Mais beaucoup de recherches restent à faire sur les conséquences de cette activité dans les zones agricoles. L'exploitation minière et le stockage des matériaux en amas élevés peuvent causer des torts presque irréparables aux horizons et aux autres structures des sols en réduisant leur fertilité et leur capacité de drainage normales. Même les techniques les plus perfectionnées ne redonnent aux terres agricoles leur productivité antérieure qu'après 3 à 5 ans. Les auteurs des recherches effectuées récemment et des nouvelles lois ont tendance à considérer les deux vocations comme des formes d'utilisation compatibles; il faut donc laisser à chacune la place qui lui revient.

Malgré l'efficacité des techniques de réaménagement, dont il sera question plus loin, un point subsiste, qui laisse incompatibles l'agriculture et l'extraction des agrégats: c'est l'extraction des agrégats au-dessous du niveau de la nappe phréatique. Dans ce cas, un plan d'eau se crée après l'extraction des agrégats. Bien que la nature, la profondeur et la qualité du plan d'eau ainsi créé lui confèrent un potentiel varié (p. ex., l'empoissonnement) et la rendent attrayante pour les loisirs, il est évident que la zone touchée est perdue pour l'exploitation agricole. Par conséquent, il est probablement sage d'évaluer le potentiel agricole d'une zone donnée avant de penser à l'utiliser pour l'extraction d'agrégats. Au Royaume-Uni, l'exploitation minière des terres à fort potentiel agricole est défendue. Au Canada, il n'existe malheureusement aucune loi similaire axée sur la différenciation des terres selon leur productivité.

La planification est tout aussi importante en ce qui concerne l'aménagement des terres forestières et des habitats fauniques. Autrefois, il était difficile de préserver les lieux jugés intéressants ou de remettre en état des forêts et des aires fauniques, car l'inventaire des caractéristiques des divers emplacements était incomplet, si tant est qu'il en existait un. Au cours des vingt dernières années, les écologistes ont fait de grands progrès dans l'inventaire des habitats naturels vitaux pour la faune et la flore. Ils ont utilisé les divers outils de planification, de réglementation et de législation à leur disposition pour protéger les zones vulnérables du point de vue environnemental et les aires naturelles. Cela a permis de réduire la menace qui pesait sur les habitats naturels, comme l'escarpement de Niagara, en y empêchant l'extraction d'agrégats. Les nouveaux plans d'aménagement des terres forestières de grande valeur esthétique, biologique ou commerciale doivent tenir compte de facteurs comme le déboisement et la reforestation. Autrement, les perturbations pourraient avoir des conséquences locales désastreuses pour les humains et les animaux.

De nombreuses régions du Canada, dont le potentiel récréatif est considéré comme important, font déjà partie de réseaux de parcs nationaux et provinciaux, tandis que d'autres sont protégés par les sociétés privées et les particuliers qui les possèdent. Mais l'extraction d'agrégats peut toujours se faire dans beaucoup d'autres aires récréatives non protégées. La présence d'une roche de fond ou de dépôts de sable et de gravier peut signifier l'élimination d'une pente de ski ou d'une installation de pêche sportive. Dans les provinces Maritimes, les plages ont toujours été des réserves de sable et de gravier. Mais elles sont devenues source de conflits en tant qu'aires récréatives importantes dans les régions touristiques. Sous la pression du public, les autorités ont pris des mesures pour régler le problème. En Nouvelle-Écosse, des zones-tampons isolent les zones récréatives, résidentielles et minières. Les constructeurs de maisons sont informés des effets des explosions (secousses telluriques et atmosphériques, bruit) dans les carrières éloignées. Mais tous les problèmes ne trouvent pas une solution facile. Ainsi, on extrait encore de grandes quantités de sable et de gravier sur la côte sud de l'Île-du-Prince-Édouard, faute de succédanés de qualité comparable. En revanche, une planification minutieuse pourrait permettre de tirer profit de paysages peu utilisés. Une fois l'activité d'extraction terminée, il est possible de réaménager les lieux pour qu'ils puissent répondre à d'autres besoins. Ainsi, l'emploi judicieux des graviers a permis d'aménager des terrains de golf, des parcs urbains et des pistes de motocross de qualité supérieure à celle qu'aurait donné les milieux naturels.

Autrefois génératrice de conflits, l'opposition entre l'extraction d'agrégats et les autres utilisations des terres devient source de compromis constructifs et incite à s'orienter vers le réaménagement. L'avenir est donc beaucoup plus brillant que le passé. L'extraction des agrégats n'entraînera plus inévitablement l'enlaidissement du paysage ainsi que la détérioration et l'abandon des terres, à condition que le réaménagement constructif et efficace soit considéré comme un élément essentiel des programmes d'exploitation des ressources.

Photo 5. Les usines de traitement des agrégats, bien que complexes et coûteuses, remplissent des fonctions très simples, soit le concassage, le criblage et le lavage des matériaux (voir figures 1a et 1b). Elles sont également une importante source de bruit, et les habitants du voisinage considèrent souvent que ces activités sont incompatibles avec d'autres formes d'utilisation des terres dans les villes, les banlieues ou les campagnes.
A.G. McLellan

Effets secondaires de l'extraction d'agrégats (bruits, poussière et enlaidissement du paysage)

Pour beaucoup de gens, l'exploitation des gravières et des carrières a davantage de répercussions sur la qualité de vie qui est la leur que sur les terres mêmes. Après quelque cinq années d'application des lois sur l'exploitation des gravières et des carrières, on a demandé à un échantillon représentatif de résidants de l'Ontario d'identifier ce qu'ils considéraient comme les principaux effets néfastes de l'extraction des agrégats (figures 2*a* et 2*b*). Tout d'abord, il est évident que les personnes touchées par le problème se plaignent surtout de la circulation des camions, du bruit, de la poussière, du danger, de l'endommagement des chaussées et de l'augmentation des coûts d'entretien, même si ces personnes habitent en fait très loin des lieux d'extraction, le long de routes de transport très achalandées. Ensuite, les répondants estiment que les gravières et les carrières abaissent le niveau de la qualité de la vie dans les zones résidentielles - le bruit, la poussière et l'enlaidissement du paysage sont des sujets de plainte fréquents.

Ce chapitre représente un point de vue et un esprit progressistes. À notre avis, une planification sérieuse, la conception des plans d'aménagement en fonction de facteurs humains et physiques, l'application de nos méthodes de planification très poussées et les mesures législatives sont la garantie que les erreurs du passé ne se répéteront pas. Néanmoins, il est évident que malgré l'adoption récente de plans d'aménagement et de mesures de conception sensés, les gravières et les carrières cadrent mal avec les hôpitaux, les quartiers résidentiels, les écoles, les aires et les visonnières, par exemple, qui sont sensibles à la poussière et à la circulation dense.

Beaucoup de nouveaux habitants de la campagne ont tendance à ne voir que les scènes champêtres et à ignorer les odeurs de la ferme et des engrais, le bruit des machines aratoires et la poussière produite par les activités agricoles. Mais ils sont sensibles aux activités liées à l'extraction des agrégats, car elles entraînent une diminution de la qualité de la vie rurale et la dépréciation de leurs biens - bien que la preuve de ce dernier effet soit cependant plus difficile à faire. Néanmoins, il est certain qu'une maison située près d'une gravière ou

Réactions du public aux problèmes posés par l'exploitation de gravières et de carrières

FIGURE 2*a*.

Exemple d'une forme de participation

QU'EN PENSEZ-VOUS ?

COUPON—RÉPONSE

Le Groupe d'étude veut savoir ce que vous pensez de ces problèmes et recevoir vos suggestions afin de leur trouver une solution. ***VOUS*** seuls pouvez nous donner ces renseignements.

- Veuillez examiner les énoncés ci-dessous, tirés de la matière traitée dans la présente publication.
- Si vous estimez que nous avons oublié de traiter un ou plusieurs aspects importants du problème, faites-nous part de vos commentaires dans l'espace prévu à cette fin ou sur une feuille distincte.
- Avez-vous pensé à d'autres façons de résoudre le problème? Dans l'affirmative, décrivez-les sur le coupon ci-joint ou sur une feuille distincte.
- Quelle importance accordez-vous aux problèmes exposés? Mettez un chiffre dans la case appropriée, de 1 à 15, par ordre décroissant d'importance.

LE PROBLÈME

« À mon point de vue, les aspects importants du problème de l'extraction des agrégats minéraux sont les suivants : »

- ☐ a. L'augmentation du prix de vente des agrégats
- ☐ b. La laideur des gravières et des carrières abandonnées
- ☐ c. L'utilisation finale des lieux après leur exploitation
- ☐ d. Le manque de clarté des lois et des règlements pertinents
- ☐ e. Les bruits et les vibrations
- ☐ f. La poussière résultant des travaux d'exploitation et du mouvement des camions
- ☐ g. La circulation des poids lourds sur les routes
- ☐ h. Les risques d'accidents
- ☐ i. Le manque de compensations accordées aux municipalités
- ☐ j. L'exploitation de gravières et de carrières riveraines
- ☐ k. La lenteur et la lourdeur du processus de délivrance de permis
- ☐ l. Le fait que ceux qui possèdent des terres renferment des réserves d'agrégats qu'ils veulent vendre perdent leurs droits de propriété
- ☐ m. La dévaluation des propriétés près des gravières et des carrières
- ☐ n. La dégradation du milieu
- ☐ o. Autres problèmes : .....

SOLUTIONS POSSIBLES

Quelle priorité accordez-vous aux solutions indiquées? Donnez l'ordre prioritaire que vous préférez en mettant un chiffre, de 1 à 7, dans la case appropriée.

- ☐ a. Ne rien faire
- ☐ b. Intervention du gouvernement provincial
- ☐ c. Avoir recours à d'autres sources d'approvisionnement
- ☐ d. Réglementation provinciale dans le cadre de plans officiels
- ☐ e. Détermination de l'offre et de la demande à l'échelle locale
- ☐ f. Coopération provinciale-municipale
- ☐ g. Autres solutions : .....

Veuillez poster ce coupon dans les 10 jours à l'adresse suivante :
Mlle S.E. Yundt
Ministère des Richesses naturelles,
Whitney Block, Bureau 6508
99, rue Wellesley Ouest
Toronto (Ontario) M7A 1W3

(416) 965-6371

Pour nous permettre de classer les réponses selon les régions et les groupes d'appartenance, veuillez fournir les renseignements suivants :

Nom de votre localité _____

Canton : _____

Votre emploi : _____

Pour recevoir un résumé du rapport final de l'étude, veuillez inscrire votre nom et votre adresse postale ci-dessous.

_____

_____

_____

Reproduit de Ontario Mineral Aggregate Working Party, 1977.

d'une carrière de grande envergure ou qui en subit l'influence attire beaucoup moins d'acheteurs éventuels et que sa valeur marchande est très réduite. De tels inconvénients pour les agglomérations voisines et leurs résidents peuvent faire baisser la valeur des terres, et ces conséquences néfastes doivent être réduites ou considérées comme inacceptables, ou bien ceux qui en sont les victimes doivent être indemnisés. L'industrie des agrégats devra continuer à faire face à des problèmes de ce genre, puisqu'on n'a pas encore trouvé une solution à chacun d'eux.

RÉDUCTION DES EFFETS DE L'EXTRACTION DES AGRÉGATS GRÂCE À UN AMÉNAGEMENT D'ENSEMBLE BIEN PENSÉ

Un énoncé de principe dégageant une tendance aux compromis

Les lois et règlements actuels fournissent souvent peu de directives à l'industrie de l'extraction des agrégats, mais ils garantissent tout de même au public et aux gouvernements un droit de regard sur l'activité de la plupart des promoteurs. Ces mesures sont la conséquence des abus commis dans le passé. Les pratiques qui étaient considérées comme acceptables, voire perfectionnées, pendant les années 1960 sont peut-être démodées et inacceptables aujourd'hui. La recherche et l'expérience ont fait ressortir l'importance de l'utilisation séquentielle des terres, de l'inventaire des sols au stade de la planification, de la production ordonnée et du réaménagement progressif. Les gouvernements reconnaissent que les réserves d'agrégats doivent être protégées tout en étant exploitées; de cela se dégage un mouvement vers une réglementation plus sensée de l'exploitation des gravières et des carrières, axée sur divers aspects des techniques de réaménagement.

La lecture d'un mémoire publié en 1980 par la Soil Conservation Society of America, groupe autrefois opposé à l'exploitation minière à ciel ouvert, permet de déceler un esprit de compris évident qui pourrait succéder à l'ancien antagonisme*:

«... la société ... s'inquiète des effets croissants de l'exploitation minière à ciel ouvert sur les sols, les eaux, les végétaux et les richesses naturelles qui en dépendent.

Ces effets augmentent car l'industrie minière nationale poursuit son expansion et ses programmes d'exploration. Et c'est là une nécessité! L'industrie minière a joué un rôle important dans le développement des États-Unis et du Canada. Il ne faut pas sous-estimer le rôle qu'elle joue dans la poursuite du bien-être matériel et économique et de l'autarcie en matière de ressources dans les deux pays.

Nous nous inquiétons des effets de l'exploitation minière à ciel ouvert précisément en raison de sa nature même. Celle-ci peut influer sur une multitude de sols, de peuplements végétaux, d'écosystèmes et de bassins hydrographiques. En outre, les exploitants miniers se disputent souvent le territoire avec les exploitants agricoles.

Il est vrai que l'exploitation minière à ciel ouvert n'occupe qu'un faible pourcentage des terres converties annuellement à des usages non agricoles, et, dans de nombreux cas, la conversion est même temporaire. Mais, concentrée en un point précis du territoire, cette activité peut altérer grandement le potentiel hydrique et la beauté du milieu et, donc, avoir des répercussions sur une étendue beaucoup plus grande que celle du milieu perturbé.

Il suffirait que cette forme d'utilisation du territoire en soit une parmi tant d'autres ou qu'elle soit réversible. Une fois l'exploitation minière terminée, la zone exploitée pourrait retrouver son aspect initial ou répondre à un autre besoin de la société. Il importe seulement que la régénération s'effectue correctement.

Le présent mémoire fournit des directives générales que peuvent suivre la Société et ses sections, les groupes privés, les écoles, les corps municipaux, les gouvernements des États et des provinces et l'industrie pour assurer la protection des ressources aux stades de l'exploitation minière à ciel ouvert et de la régénération des zones exploitées. Les grands principes qu'il expose aideront à établir des politiques visant le respect de toutes les richesses naturelles pendant l'exploitation minière, la restauration des zones minières récemment exploitées pour leur rendre leur productivité originale, et la régénération des zones minières abandonnées pour leur redonner une utilité ...» (Soil Conservation Society of America, 1980).

Ce mémoire révèle également qu'aux États-Unis la superficie des lieux d'extraction du

FIGURE 2*b*.

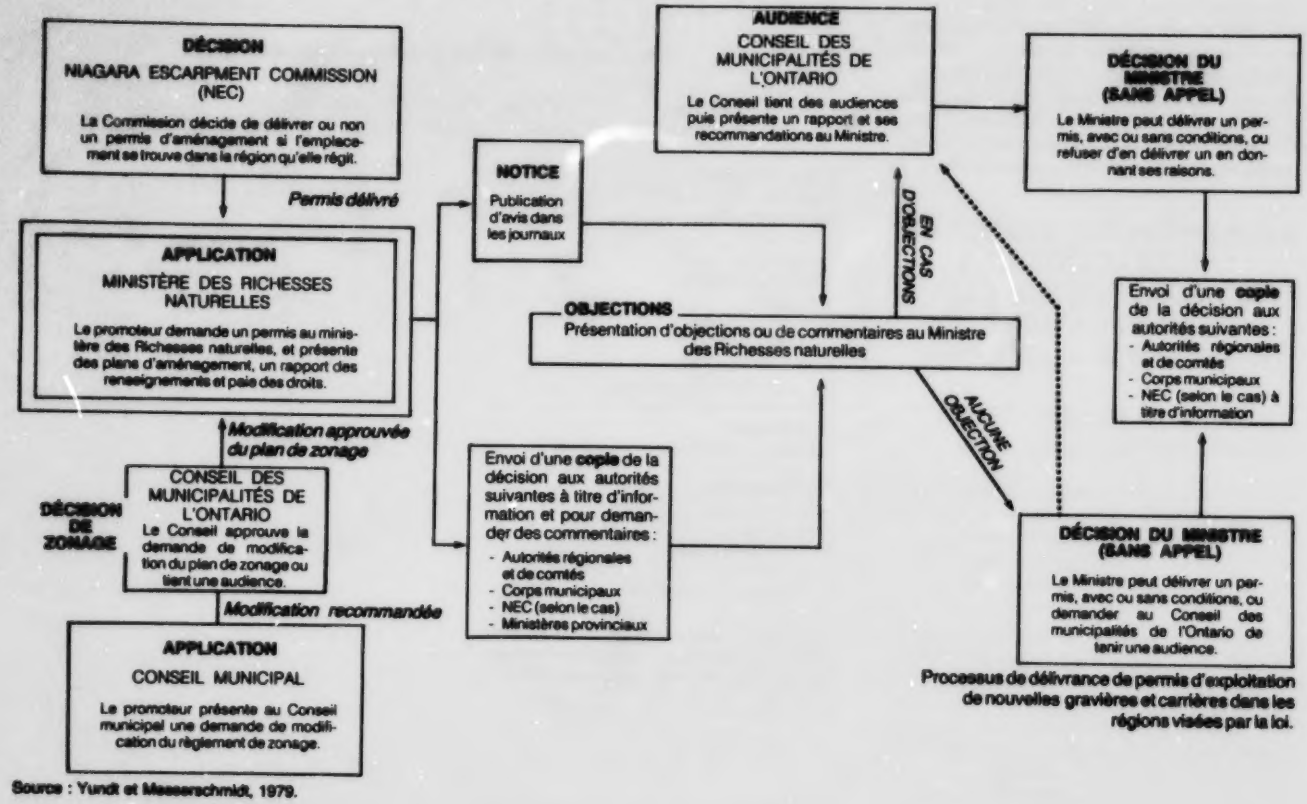
Importance donnée aux problèmes selon les régions

Régions: Problèmes	Caledon* (N-37)	Cote** (N-35)	Guelph* (N-20)	Cote** (N-20)	Kitchener* (N-33)	Cote** (N-27)
a. Prix des agrégats	5	2	3	7(2)	8	7
b. Laideur du paysage	27(2)	11(2)	8	8(1)	25(1)	18(1)
c. Utilisation finale des lieux	19	4	12(1)	5	20(3)	13(3)
d. Législation	16	8	10(2)	3	18	8
e. Bruits et vibrations	23	9	7	-	13	3
f. Poussière	24	9	6	-	15	5
g. Circulation des poids lourds	30(1)	14(1)	9	2	17	4
h. Risques d'accidents	23	4	5	-	16	2
i. Manque de compensations	16	7	5	1	12	8
j. Gravières et carrières riveraines	12	-	5	2	13	-
k. Lenteur et lourdeur du processus d'octroi d'un permis	4	3	6	5	10	5
l. Perte du droit de propriété	8	3	6	5	8	1
m. Dévaluation des propriétés	22	9	10(2)	3	16	3
n. Perturbation du milieu	26(3)	11(2)	7	7(2)	24(2)	11(3)

* Nombre de fois que le problème a été relevé
** Nombre de fois que le problème a été coté 1, 2 ou 3
Source: Ontario Mineral Aggregate Working Party, 1977.

FIGURE 2*c*.

Nouveau processus de planification proposé pour l'octroi de permis d'exploitation de gravières et de carrières en Ontario



Processus de délivrance de permis d'exploitation de nouvelles gravières et carrières dans les régions visées par la loi.

Source : Yundt et Masserschmidt, 1979.

sable et du gravier représente plus du quart (27,6 %) de l'ensemble des terres qui devraient être régénérées (427 711 ha). Il n'existe aucune statistique comparable sur la situation au Canada, mais celle-ci est probablement pire. La Société propose la poursuite des objectifs suivants, qui sont détaillés à l'annexe I:

- Encourager la recherche et le développement en matière de régénération des terres.
- Encourager l'amélioration de la planification des activités minières.
- Encourager l'emploi de méthodes de régénération qui permettront le plus grand nombre d'utilisations possibles des terres.
- Encourager les organismes gouvernementaux à travailler de concert.
- Encourager la création d'une industrie minière stable et rentable.
- Encourager la conservation et le recyclage des matériaux.
- Encourager le législateur à conserver aux lois sur la régénération toute leur actualité.
- Encourager la participation locale à la planification des activités minières et à la prise de décisions pour l'utilisation des terres.
- Encourager la sensibilisation du public aux coûts de l'exploitation minière et de la régénération des sols.

Importance de la planification et de la participation du public

Pour tout projet d'exploitation minière, il faudrait prescrire l'établissement d'un inventaire complet et une planification préalable du futur réaménagement, ainsi que la collecte de données détaillées sur les sites à exploiter et la zone environnante. C'est le préalable à tout réaménagement efficace. Au stade de la planification, les recherches pourraient permettre de repérer les zones qui méritent d'être préservées. Le tableau 3, que l'auteur a établi après avoir participé à la réalisation de plus de 30 plans d'aménagement de gravières et de carrières en Ontario, montre le genre de renseignements nécessaires à l'exécution de tout programme de planification digne de ce nom. Ce tableau ne montre cependant pas la somme des efforts que nécessite l'intégration des données et la recherche de compromis durables.

Un plan d'aménagement comporte de nombreux objectifs, mais on peut les résumer simplement de la manière suivante : premièrement, rendre les programmes d'exploitation le moins nuisibles possible pour le milieu social et physique touché; deuxièmement, veiller à ce que, en tout temps, les perturbations touchent la plus petite surface possible et qu'un programme de réaménagement progressif soit rigoureusement mis en oeuvre (à cet égard, voir la figure 4, où les

TABLEAU 3.

Éléments pouvant entrer dans un énoncé des incidences environnementales d'une mine à ciel ouvert

Études physiques
- Photographie aérienne
- Eaux souterraines
- Eaux superficielles
- Analyse des sols
- Écologie (faune et flore) et superficie des zones hydriques et terrestres considérées
- Étude géologique
- Aspects archéologiques, historiques et esthétiques
- Préservation du milieu et atténuation des incidences

Études opérationnelles
- Analyse du marché et justification économique du projet
- Routes de transport (à l'intérieur et hors des limites de l'emplacement considéré)
- Relations avec la population
- Étude de planification
- Étude de la réaction des résidants locaux au projet
- Pollution par le bruit et atténuation de cette pollution
- Plan d'aménagement (pentes, entrées, emplacement des machines, etc.)
- Coordination avec tous les services de planification et les établissements publics

Opérations minières et régénération du milieu
- Plan optimal d'exploitation par phases
- Modèle de réaménagement progressif
- Exploitation agricole et restauration du milieu
- Programme de reboisement
- Entretien et amélioration des corridors fauniques
- Conception de l'utilisation finale des terres

Source: McLellan, 1981 Canadian Resource Policies.

Photo 6. Une planification efficace permet de réduire au minimum les effets de l'exploitation des gravières et des carrières, qui peuvent être masqués par des écrans végétaux et des banquettes. Toutefois, comme le montre cette photo prise en Ontario, des arbres plantés trop tard ne forment pas toujours un rideau aussi efficace qu'ils le pourraient.
A.G. McLellan

zones B et C occupent le moins d'espace possible); et, troisièmement, conserver au paysage toutes les caractéristiques essentielles à sa ou ses vocations futures. Il importe que les recherches et les recommandations qui en découlent fassent partie intégrante du programme d'aménagement au lieu d'être considérées comme une formalité inévitable.

Il est évident que pour qu'un plan d'aménagement soit valable, il faut que les étapes qui le composent soient synchronisées. Toutes les données sur la nature des ressources à extraire, ainsi que sur le site et ses environs, devraient être recueillies avant d'entreprendre la conception et de décider de la marche à suivre. Les personnes pouvant être touchées par l'exécution du programme et ses effets secondaires, tels la poussière, la circulation de camions et les effets sur les eaux superficielles et souterraines, devraient avoir l'occasion de donner leur avis avant que soient prises les décisions finales.

Aujourd'hui, les personnes préoccupées par les effets directs ou indirects de l'exploitation minière sur leur qualité de vie exigent la tenue d'audiences publiques. Des groupes de citoyens retiennent parfois les services de spécialistes et d'avocats pour présenter leur point de vue. À un autre palier, des groupes de pression organisés tentent d'influencer ceux qui élaborent les grandes politiques et les directives relatives au contrôle des opérations.

Ne pas faire appel au public comporte des risques. Les recommandations suivantes résultent d'une étude effectuée récemment en Ontario (McLellan *et al.*, 1981) sur l'attitude des citoyens, des producteurs d'agrégats, des représentants élus et des inspecteurs du gouvernement et sur le mode de règlement des conflits par le Conseil des municipalités de l'Ontario.

1) Les municipalités devraient encourager les citoyens à examiner les projets d'exploitation de gravières et de carrières, en particulier ceux qui croient que leur qualité de vie pourrait être menacée. Il faudrait tenter d'en arriver à un compromis pour éviter les litiges.

2) Il faudrait vaincre les obstacles de l'inintelligibilité des textes et du jargon technique. Il incombe au Conseil des municipalités de l'Ontario de voir à ce que les spécialistes qui témoignent à ses audiences emploient un langage compréhensible par tous (ce qui n'est pas toujours le cas). Toutefois, cette responsabilité devrait être partagée par d'autres intervenants. Par exemple, avant la tenue de toute audience officielle, les producteurs d'agrégats devraient être obligés de tenir une audience publique pour expliquer leur projet en termes courants.

3) Si elle était adoptée, une loi proposée récemment prescrirait le contrôle des effets de l'exploitation d'une gravière ou d'une carrière cinq ans après son ouverture. Les municipalités devraient saisir cette occasion pour exécuter des programmes de surveillance réguliers afin de déterminer si les premières inquiétudes des résidents sont toujours valables et s'il n'en existe pas de nouvelles. Depuis que la province de l'Ontario s'occupe des questions d'environnement, c'est dans le contrôle, la gestion et le suivi qu'elle présente le plus de faiblesses.

4) Le gouvernement provincial, avec l'apport des groupes de citoyens, devrait tenter le plus possible d'évaluer les avantages et les

inconvénients de la participation du public à la prise de décisions au stade de la planification.

5) Afin d'accélérer le processus d'approbation de son projet, le producteur d'agrégats devrait se charger de déterminer les besoins du public et d'obtenir son appui. S'il n'existe pas de moyens de communication officiels, il devrait également se charger d'établir les contacts.

6) Les études devraient au moins comprendre les éléments suivants:
   a) Étude des milieux humain et naturel existants;
   b) Détermination, dans un contexte régional, des traits naturels, historiques et culturels de l'emplacement visé;
   c) Évaluation de la demande locale et régionale en agrégats afin de déterminer la nécessité ou non d'en extraire à l'emplacement visé;
   d) Étude des effets de la circulation, y compris les questions de sécurité, de pollution et de détérioration possible de la chaussée, sur toutes les routes de transport des matériaux à destination et en provenance de l'emplacement visé;
   e) Étude des caractéristiques des eaux superficielles et souterraines et évaluation des transformations qu'elles pourraient subir si le projet était réalisé; et
   f) Évaluation quantitative et qualitative du dépôt même.

   Cette dernière étude est très souhaitable du point de vue du producteur. D'abord, elle permettrait de mieux déterminer l'importance du dépôt et d'évaluer la demande. Elle permettrait aussi de fonder les plans d'extraction et de réaménagement sur des données plus précises, de manière à mieux apprécier les solutions de rechange et à obtenir le maximum d'efficacité. Souvent, s'il connaît les incidences possibles de son projet, le producteur d'agrégats peut choisir l'équipement, les voies de transport et les modes d'extraction appropriés et d'autres méthodes de triage des matériaux et de réaménagement qui n'étaient pas venus immédiatement à l'esprit ou qui sont considérés comme nécessaires. Les raisons du choix d'un emplacement donné étant discutables, l'examen des diverses solutions de rechange et des données d'inventaire du gouvernement devraient occuper une place importante dans les recherches commandées par les promoteurs d'un projet.

7) En présentant les rapports de leurs recherches, les producteurs d'agrégats ou les spécialistes à leur service devraient tenir compte des points suivants:
   a) Le texte du rapport devrait contenir le moins possible de jargon technique, de tableaux statistiques et de modèles mathématiques; dans la mesure du possible, les données de ce genre devraient figurer en annexe;
   b) Les termes ou les méthodes de recherches spéciales devraient être complètement définis ou expliqués le plus simplement possible;
   c) Les auteurs devraient essayer de décrire les incidences possibles des activités de manière compréhensible par une personne qui n'est pas du métier (p. ex., décrire les bruits en parlant du son des klaxons d'automobiles aussi bien qu'en les quantifiant en décibels ou en Leg (symbole du niveau sonore équivalent, en acoustique);
   d) Les incidences possibles sur le milieu humain devraient être considérées en fonction des caractéristiques de la population actuelle et non simplement de probabilités statistiques et de préférences; et
   e) Il faudrait montrer le plus de graphiques possibles.

8) Il est courant de rédiger les plans d'aménagement initiaux sous une forme à peu près définitive avant de les soumettre à l'examen du public. Pour éviter de heurter les citoyens, ces plans devraient contenir seulement de simples cartes topographiques de l'emplacement en question et des descriptions des procédures à suivre. La tenue d'une courte réunion avec discussion à bâtons rompus au premier stade d'un projet est un très bon moyen d'établir de bonnes relations avec les habitants d'une localité.

9) Les lois pertinentes devraient obliger les producteurs d'agrégats à procéder aux diverses études d'impact demandées et à employer une méthode d'analyse standard pour connaître l'étendue physique de certaines incidences. Une fois ces responsabilités remplies, il faudrait tenter d'entrer en contact avec toute la population des zones touchées, par l'intermédiaire des journaux locaux, des conseils municipaux ou autres.

Trop souvent, les demandes d'autorisation d'exploiter des gravières ou des carrières ont été jugées à leur valeur propre. Dorénavant, on pourrait s'attendre à ce que les projets soient conformes à des plans officiels bien précis et à ce que les requérants tiennent compte des conditions du milieu, sans négliger pour autant l'existence d'autres gravières et carrières dans les environs ainsi que les milieux humain et naturel hors des limites du territoire visé par la demande (p. ex., des corridors fauniques et des réseaux de cours d'eau). En d'autres termes, les promoteurs devraient démontrer qu'ils ont considéré les incidences générales de leur projet dans la région où il doit être exécuté.

Au stade de la planification, le public devrait avoir l'occasion de s'exprimer et de réagir. Mais il ne suffit plus de réagir en disant: «Nous ne voulons pas d'une gravière ou d'une carrière dans notre cour», ce qui mène inévitablement à la conclusion suivante : «Pourquoi n'allez-vous pas dans la cour de quelqu'un d'autre?» Tout comme les citoyens, les producteurs d'agrégats sont en droit de s'attendre à ce que les représen-

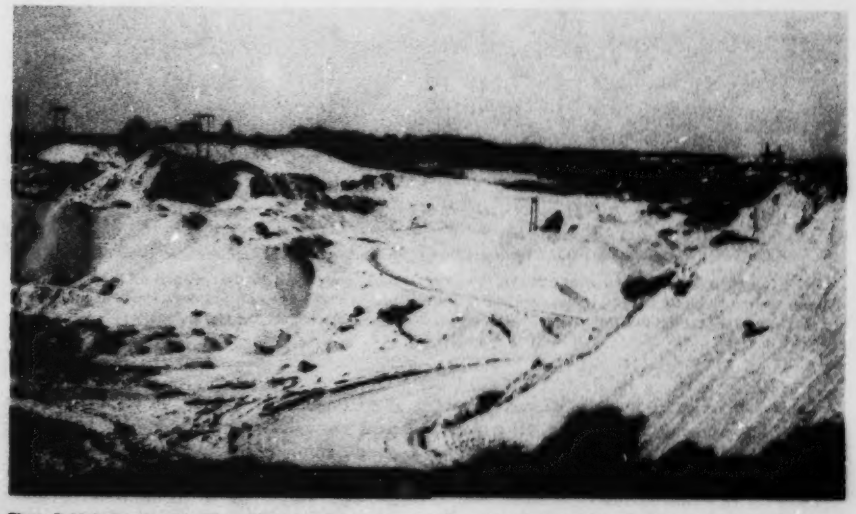


Photo 7. L'observateur attentif constate que l'intérieur des gravières est rarement aussi ordonné que les plans d'aménagement le prévoyaient.
A.G. McLellan

tants élus et les fonctionnaires fassent leur travail honnêtement et le mieux possible. Les groupes d'opposition devraient pouvoir, comme les promoteurs, faire valoir leurs arguments. Par conséquent, toutes les parties devraient être davantage convaincues de la nécessité d'envisager toutes les conséquences de l'utilisation et de la gestion des terres et des ressources souterraines.

Il convient d'aborder la question du contrôle ultérieur à l'approbation d'un programme d'exploitation. De nos jours, l'approbation des projets d'exploitation de puits et de carrières vient habituellement après l'examen rigoureux des nombreux facteurs en jeu, mais la gestion et le contrôle des opérations qui suivent l'approbation ne sont pas soumis aux mêmes contraintes. L'expérience vécue au cours des deux dernières décennies incline à penser que certains producteurs d'agrégats ne respecteront probablement pas l'esprit des lois récemment adoptées. Un contrôle inefficace de la part des organismes gouvernementaux nuit tout autant au producteur consciencieux qu'à celui qui ne l'est pas, et l'opinion publique semble être frappée davantage par les mauvais exemples que par les bons.

TENDANCES ET PROBLÈMES ACTUELS

Problème de l'abandon des terres et de leur réaménagement

Les lois récentes et celles adoptées actuellement au Canada portent sur des aspects présents et futurs et ne tentent guère de résoudre les problèmes du passé – en l'occurrence les terres détériorées et abandonnées par suite de l'exploitation d'anciennes gravières et carrières. L'ampleur du problème demeure inconnue au Canada. Le gouvernement ontarien a admis qu'une nouvelle mesure législative devrait aborder cette question (1977) et 1) a indiqué que la nouvelle loi obligerait les exploitants actuels de gravières à payer pour le réaménagement des sites abandonnés et 2) a commandé, en 1978, une étude qui devait être menée par un de ses hauts fonctionnaires (superviseur de la Section des minéraux industriels), un planificateur supérieur dans la zone à l'étude (directeur de l'Aménagement, Service de l'urbanisme, municipalité régionale de Waterloo) et un professeur universitaire de géographie avec expérience en recherche dans ce domaine. Les raisons de cette étude et du choix de cet endroit étaient les suivantes*:

«1. Déterminer l'emplacement, l'état et l'étendue des terres détériorées par les activités d'extraction en surface;

2. Étudier les possibilités offertes en vue d'utiliser plus efficacement ces terres; et

3. Élaborer un cadre méthodologique qui aiderait les municipalités aux prises avec ce problème à faire le meilleur usage possible des sommes mises à leur disposition par le fonds de réaménagement....» (McLellan *et al.*, 1979).

La municipalité régionale de Waterloo, qui apparaît à la carte 1, a été choisie comme lieu d'étude pour les raisons suivantes*:

«1. L'ensemble de la région a toujours été et continuera d'être l'une des plus productives en Ontario.

2. Le conseil de la municipalité régionale de Waterloo a compris la nécessité de réaménager les gravières abandonnées et appuie fortement l'étude de réaménagement.

3. De plus, les recherches connexes ont été menées par A.G. McLellan et d'autres chercheurs de l'université de Waterloo. Ces études antérieures ouvrent des perspectives chronologiques qu'on ne retrouve pas nécessairement ailleurs....» (McLellan *et al.*, 1979).

Sans qu'il soit nécessaire de relater toutes les découvertes tirées de l'étude, certaines conclusions importantes et sans doute imprévues méritent d'être mentionnées. En Ontario, le problème des gravières abandonnées varie d'une région à l'autre; les parties de l'Ontario dénuées de ressources en agrégats ne sont pas vraiment aux prises avec ce problème. Dans la région de Waterloo, un grand nombre d'exploitations sans permis et apparemment abandonnées étaient très petites (moins de 1 ha) et continuaient d'être utilisées privément par le propriétaire. Ainsi, dans l'ensemble, les gravières abandonnées n'étaient pas perçues comme un problème important à Waterloo.

Là où le public se plaignait des gravières abandonnées, l'étude a découvert que la plupart de ces puits se situaient dans des zones d'extraction actives autorisées. Le Groupe d'étude sur l'exploitation des agrégats minéraux de l'Ontario, dans son rapport précédent, avait proposé des améliorations conçues pour accélérer le processus de réaménagement dans les zones d'extraction actives autorisées. Ces améliorations, ainsi que de plus grandes responsabilités et d'intéressantes perspectives de profits pour les producteurs d'agrégats, devraient atténuer dans un proche avenir le problème que constituent pour le public les terres abandonnées.

Les 103 emplacements de gravières et de carrières abandonnées qui ont été identifiés dans la municipalité régionale de Waterloo n'occupent qu'une superficie totale de 160 ha. La dimension réduite de la plupart de ces emplacements constitue une contrainte majeure pour les utilisations éventuelles. Par contre, les coûts de réaménagement de sites de cette taille ne devraient pas être élevés; c'est pourquoi un grand nombre d'entre eux pourraient être réaménagés en une période relativement courte.

Une des premières étapes en vue de résoudre les problèmes des gravières et des carrières abandonnées consiste à faire l'inventaire des zones affectées et une évaluation des problèmes et possibilités connexes. Grâce à ces renseignements, les responsables municipaux seront mieux en mesure de voir comment procéder pour tirer le meilleur parti possible des emplacements, dans l'intérêt global de la collectivité.

Les résultats de l'étude menée à Waterloo indiquent que les sommes offertes dans le cadre du projet de loi en Ontario, si on considère comme typiques les obstacles qu'a eu à surmonter la municipalité régionale de Waterloo, permettront sans doute d'éliminer en 10 ans le problème des gravières et carrières abandonnées.

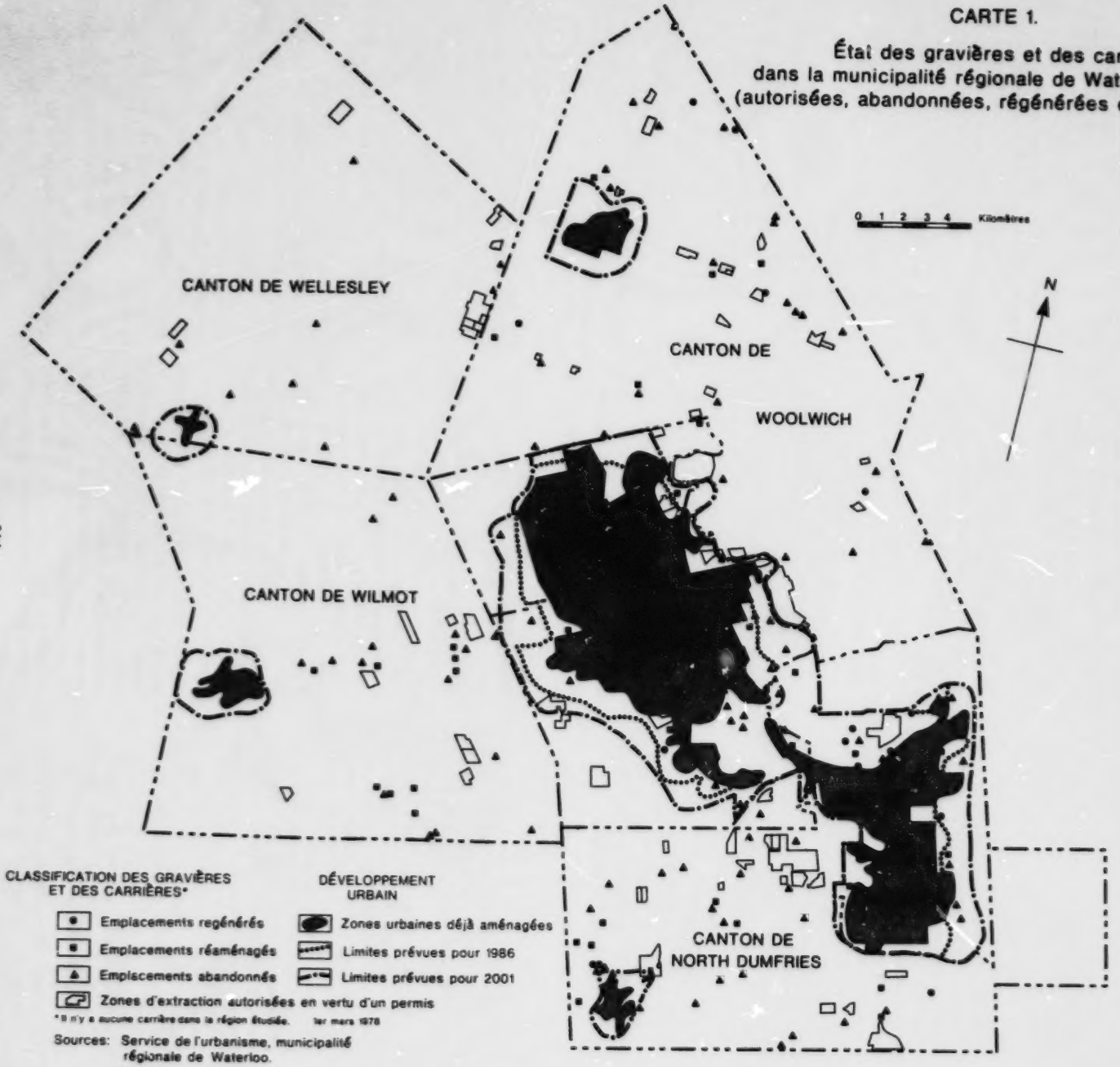
L'étude a également fait ressortir le caractère vague de la définition générale du terme «réaménagement». On a découvert que de nombreux sites abandonnés continuent d'être utiles même s'ils n'ont pas été réaménagés. Par conséquent, l'étude a donné des définitions pour les deux descriptions courantes de conditions des terres: réaménager et régénérer. Le réaménagement est le traitement d'une terre perturbée en vue de l'améliorer et de la mettre à profit. C'est le résultat de l'activité humaine ou des processus naturels qui fait que l'apparence des terres s'harmonise avec le paysage environnant tout en servant à un usage spécifique et socialement avantageux. Autrement dit, l'apparence physique et l'utilisation des terres sont modifiées pour arriver à un état acceptable.

Dans le cadre de la présente étude, la régénération n'est qu'un réaménagement partiel, en ce sens qu'elle n'exige qu'une seule des deux composantes nécessaires à un réaménagement total, c'est-à-dire un changement acceptable de l'apparence physique ou de l'utilisation de la gravière ou de la carrière. La régénération peut être perçue comme une première étape d'un réaménagement éventuel. Le site peut être vacant tout en offrant une apparence présentable, ou bien le fond de la gravière ou de la carrière peut servir à remiser la machinerie, les véhicules, etc.

Le réaménagement des gravières abandonnées, qu'il soit fait individuellement ou en collaboration, nécessite une certaine forme de planification. Le réaménagement régional nécessite l'élaboration, par l'administration régionale, d'un processus de planification basé sur une étude de planification régionale qui se divise en deux volets : premièrement, obtenir des informations relatives aux exigences de la collectivité qui pourraient être satisfaites par le réaménagement des gravières et carrières abandonnées; deuxièmement, étudier les méthodes de planification et de financement actuelles et éventuelles qui permettraient d'atteindre les objectifs de réaménagement.

CARTE 1.

État des gravières et des carrières dans la municipalité régionale de Waterloo (Ontario) (autorisées, abandonnées, régénérées et réaménagées)



Sources: Service de l'urbanisme, municipalité régionale de Waterloo.
McLellan *et al.*, 1979.

L'étude de Waterloo menée en 1979 a fait pour principe de base que même les terres détériorées et abandonnées peuvent être converties de façon à répondre aux besoins de la collectivité. Il est donc nécessaire de connaître les demandes pour diverses utilisations des terres si on veut les rendre productives. L'étude de Waterloo a demandé aux répondants de préciser les besoins pour divers usages dans la municipalité régionale de Waterloo et de placer ces besoins par ordre d'importance. Ceux qui sont revenus le plus souvent étaient, dans l'ordre, les activités de loisirs, le logement, l'agriculture, la foresterie, l'enfouissement sanitaire et l'occupation industrielle ou commerciale.

L'étude a porté sur la mise en application d'un programme visant à réaménager certains emplacements abandonnés ayant des caractéristiques différentes et on a analysé les diverses façons d'utiliser l'argent disponible, notamment l'achat de terres par la municipalité, les avantages financiers aux propriétaires fonciers ainsi qu'un programme d'embellissement. Les principes directeurs indiquaient qu'avant d'être affectée à une utilisation, une terre devrait répondre à certains critères:

Agriculture
- Être éloignée des activités urbaines incompatibles
- Être adjacente à des terres agricoles en exploitation
- Avoir une couche arable adéquate

Foresterie
- Être à proximité d'une terre boisée (pour des raisons écologiques ou commerciales)
- Mesurer au moins 2 ha si elle est destinée à la production du bois
- Investissement à long terme : conserver sa vocation pendant au moins vingt ans
- Pouvoir servir également dans le cadre d'un programme d'embellissement, auquel cas elle peut être inférieure à 2 ha

Logement
- Être éloignée d'une zone industrielle
- Se situer dans une zone bâtie
- En zone rurale, être indépendante et entourée de zones-tampons

Loisirs
- En utilisation intensive, se situer à proximité d'une zone résidentielle bâtie
- En utilisation passive, comporter certains agréments naturels ou se trouver à proximité d'une zone de loisirs existante, ou être utilisée comme aire de service (stationnement, etc.)
- Comme terrain de pique-nique, se situer le long d'une route panoramique

Décharge contrôlée
- Être compatible avec l'utilisation des terres avoisinantes
- Avoir une compatibilité géologique et hydrologique

Vocation industrielle ou commerciale
- Se trouver à proximité ou à l'intérieur d'une zone urbaine
- Être éloignée d'une zone résidentielle
- Avoir au moins 2 ha de façon à regrouper l'industrie légère

Au cours de l'étude de Waterloo, il a paru évident que certains emplacements avaient beaucoup plus de chances d'être réaménagés que d'autres parce que leur situation géographique leur donnait une plus forte valeur. En fait, certains emplacements abandonnés ont été remis en état pendant l'étude même, dont la durée a été courte. Malgré cela, l'étude a recommandé que le Fonds provincial de réaménagement serve d'abord à subventionner le réaménagement des emplacements à valeur potentielle minimale, c'est-à-dire les emplacements de moindre valeur mobilière, afin que l'argent soit utilisé à bon escient. L'étude a donc établi une échelle de catégories de conditions des emplacements comme guide d'utilisation des fonds: la première correspondait aux emplacements les plus susceptibles de recevoir des subventions, et la quatrième aux emplacements les moins admissibles (McLellan *et al.*, 1979).

> Catégorie 1—Zone rurale - aucune pression d'aménagement
>
> Catégorie 2—Aménagement prévu vers 2001
>
> Catégorie 3—Aménagement prévu vers 1986
>
> Catégorie 4—Terre déjà destinée à l'aménagement

Cette étude régionale, même si elle n'est pas représentative de toutes les régions de l'Ontario et du Canada, était rassurante. Plusieurs provinces se sont déjà penchées sur de nombreuses préoccupations publiques. L'échelle du problème d'abandon réel n'a pas semblé aussi importante que prévu, et les lois du marché ainsi que le programme suggéré par l'étude de Waterloo devraient pouvoir faciliter le réaménagement des gravières et carrières abandonnées.

Méthodes souples – Types de perturbations et certaines solutions de réaménagement

Il importe de reconnaître que le problème des terres dégradées et nos correctifs varient selon l'emplacement des lots de terrain. Les paragraphes suivants portent sur trois courts exemples de catégories importantes d'emplacements: 1) terre en zone périurbaine, 2) terre en zone rurale éloignée, et 3) terre dans le Nord.

Gravières et carrières en zone périurbaine

Certains producteurs d'agrégats se sont plaints, avec raison, qu'un grand nombre d'intéressantes ressources en agrégats leur étaient soustraites par suite de l'expansion prolifique des villes canadiennes au cours des années 1960 et 1970. Cela n'était pas nécessairement le reflet d'une croissance sauvage ou non planifiée. À cette époque, les planificateurs n'avaient pas les moyens cartographiques ou les contrôles législatifs qui leur auraient permis d'évaluer la qualité des ressources en agrégats ou d'en conserver des richesses. Certains gouvernements provinciaux exigent désormais que les zones soient cartographiées de façon à faire l'inventaire des ressources et que des politiques appropriées soient établies.

Étant donné que les ressources en agrégats à proximité des villes étaient épuisées, on a dû trouver de nouvelles ressources à des distances beaucoup plus grandes des centres urbains. En même temps, l'expansion urbaine signifiait que les utilisations urbaines des terres, pas toujours compatibles, entouraient de nombreuses gravières et carrières. Ainsi, dans bon nombre d'agglomérations urbaines importantes, comme Montréal, Ottawa et Winnipeg, on retrouve d'importantes gravières et carrières en zone urbaine. Cela les rend donc très apparentes, ce qui a contribué aux conflits et antagonismes qu'elles ont suscités, du fait de cette utilisation socialement inacceptable.

Il est devenu de plus en plus compliqué et difficile, au cours des années 1970, d'autoriser et d'ouvrir de nouvelles exploitations si ces dernières se trouvaient non loin des villes (Bryant *et al.*, 1982). Il est arrivé fréquemment qu'un groupe de citoyens conscients du problème, souvent avec preuves à l'appui, soit prêt à s'opposer à l'exploitation d'un site en présentant des arguments percutants et souvent efficaces contre le projet.

Il s'est présenté une intéressante possibilité de compromis qui, dans une certaine mesure, résoud ce problème. Les propriétaires de gravières et de carrières dont l'exploitation remonte à une période antérieure à la croissance effrénée des villes n'ont pas à faire face aux coûts élevés de nouvelles installations et de nouvelles acquisitions de terres ou aux difficultés sans cesse croissantes et onéreuses de zonage et d'obtention de permis. Les gens du voisinage ne peuvent pas se plaindre de ne pas connaître à l'avance l'incompatibilité des utilisations des terres. En même temps, les ressources éloignées du marché des agrégats coûtent cher à exploiter et à transporter. Traditionnellement, l'expansion des banlieues a souvent signifié la stérilisation précoce des bonnes terres de culture par les spéculateurs et un manque à gagner par non exploitation des agrégats. Le ralentissement de

la croissance urbaine au Canada au cours des cinq dernières années a permis de remettre une partie de ces terres en exploitation agricole plus active.

La ville de Kitchener a pris l'initiative d'appuyer une façon intéressante d'améliorer cette situation en appliquant une politique de mise en valeur de ressources multiples. Là où les propriétaires agricoles prévoient un aménagement urbain et savent qu'il y a des dépôts commerciaux d'agrégats sur leurs terres et où les politiques officielles de planification indiquent qu'il serait possible de donner aux terres une vocation urbaine, après qu'elles aient été consacrées à l'agriculture, les propriétaires sont encouragés à considérer l'extraction de la totalité ou d'une partie des ressources en agrégats avant la conversion des terres en zone urbaine. Dans une situation de ce genre, deux propriétaires agricoles à la limite est de la ville, qui prévoyaient un lotissement industriel entre 1980 et 1985, ont chargé un consultant d'examiner et d'inventorier le potentiel de ressources en agrégats de leurs terres. Les recherches ont décelé environ 2 500 000 tonnes de sable et de gravier dont l'extraction pourrait être rentable. Un producteur d'agrégats voisin, le dernier dans la zone construite de Kitchener, qui entrevoyait d'ici 35 ans l'épuisement imminent des ressources en agrégats de sa propriété de 200 ha, a accepté de verser des redevances de tant par tonne pour extraire le sable et le gravier des terres des propriétaires agricoles. Les ententes et les permissions voulues ont été demandées à la ville de Kitchener, au Grand River Conservation Authority, au Canadien National, au ministère des Transports et des Communications, au ministère des Richesses naturelles et à la municipalité régionale de Waterloo. Des plans ont ensuite été élaborés pour extraire le gros du sable et du gravier de sorte que les conditions finales du terrain conviennent au lotissement industriel.

L'utilisation de ressources multiples et la planification séquentielle, comme dans l'exemple précédent, même si elles n'empêchent en rien la perte des terres agricoles, peuvent souvent entraîner des avantages importants. Pour Kitchener, les avantages évidents étaient les suivants: 1) empêcher la perte de 2 500 000 tonnes d'agrégats de valeur; 2) utiliser des parcelles pour lesquelles une nouvelle utilisation urbaine est facilement trouvable, assurant ainsi une transformation rapide et une dégradation de très courte durée; 3) prolonger de 5 à 10 ans la durée de vie des exploitations d'agrégats établies depuis longtemps (cette période inclut celle de la vente des ressources stockées); 4) assurer la survie des exploitations auxiliaires locales ... usines de fabrication de béton et de blocs de construction; 5) empêcher tout autre camionnage onéreux à partir d'autres endroits; 6) éviter l'installation de nouvelles exploitations dans des endroits peut-être moins avantageux et plus controversés; 7) maintenir les coûts et les prix plus bas pour les utilisateurs locaux d'agrégats; et 8) financer et produire efficacement des terres à potentiel industriel dont la municipalité voisine a grand besoin.

Les avantages économiques pour les propriétaires agricoles et les producteurs d'agrégats sont évidents. L'extraction et la vente de sable et de gravier pendant une période relativement courte (de 3 à 6 ans) assurent un revenu qui pourrait être beaucoup plus élevé que le prix d'achat initial de toute la propriété et ne retarde que de peu la vente lucrative des terres pour lotissement industriel. Grâce à une extraction bien planifiée, la terre est laissée dans les conditions voulues pour un aménagement ultérieur. Les intérêts de l'exploitant, de l'industriel, de la municipalité et du public sont tous bien servis. En effet, la ville de Kitchener a reconnu les avantages de ces ressources en bordure urbaine et, dans un rapport de travail rédigé en 1982, identifie ces ressources et recommande «d'encourager leur extraction avant que l'aménagement ne stérilise les ressources» (Rapport de travail Kitchener P.D. 60/82).

Il y a lieu d'espérer que des projets comme celui de Kitchener seront plus courants dans l'avenir. Compte tenu des diverses possibilités d'utilisa-

Photo 8. Voici un cas exceptionnel de réaménagement progressif (Steed and Evans, Fonthill, Ontario). Le terrain de golf, au centre, était une ballastière, il y a peu de temps encore. À l'arrière plan, les arbres d'âge mûr ont été conservés et d'autres arbres de différentes espèces ont été plantés. Ici, l'extraction et les activités récréatives coexistent relativement bien.
A.G. McLellan

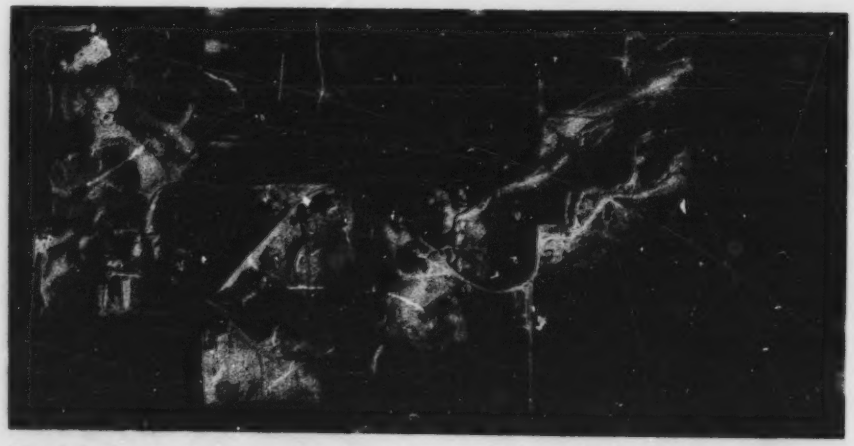


Photo 9. Photographie aérienne de la zone représentée par les photos 8 et 10, mais prise sept ans plus tôt. Dans le coin supérieur gauche, on voit les arbres d'âge mûr conservés et les lacs nouvellement aménagés. À gauche, au centre, le bassin de sédimentation est aujourd'hui remplacé par le terrain de golf qui apparaît sur la photo 8. Le champ de fourrage qui se trouve au centre, à droite, était une zone dénudée qu'on décapait en prévision des travaux d'excavation (photo 10).
Northway-Gestalt Corporation

tion des terres en bordure des villes et des valeurs plus élevées des terres à ces endroits, de telles initiatives devraient devenir de plus en plus intéressantes. Les contraintes de planification devraient être réétudiées afin de mettre à profit la multiplicité des ressources.

En raison de leur situation en zone périurbaine, l'utilisation ultérieure de nombreuses gravières et carrières est survenue en milieu urbain plutôt que rural. Dans une étude récente sur le sort des anciens emplacements d'extraction d'agrégats dans Toronto et sa proche banlieue, on a découvert certains faits intéressants et rassurants. Sur les 77 emplacements à l'étude, 34 % sont utilisés maintenant pour les loisirs, 27 % ont une vocation résidentielle, 13 % sont occupés par des écoles ou des établissements publics, 10 % par l'industrie, 8 % par des commerces, 5 % sont devenus des lieux d'enfouissement sanitaire, et les 3 % restant sont mis en culture ou convertis en espaces verts (Yundt et Augaitis, 1979). Cela ne veut pas dire que les producteurs d'agrégats avaient prévu de laisser les terres dans une condition qui faciliterait leur transformation en vue d'utilisations ultérieures. Toutefois, la valeur souvent accrue de tels sites, surtout ceux qui sont utilisés comme zones résidentielles, industrielles ou commerciales, ont eu un puissant effet éducatif. C'est là une preuve encourageante qu'une planification bien faite peut atténuer en grande partie la perturbation des ressources en des terres associées aux activités d'extraction.

Gravières et carrières dans les zones agricoles rurales éloignées

Les solutions décrites dans la section précédente ne sont que partielles. Dans de nombreux cas, il n'existe pas de possibilités de compromis. La planification à long terme devra tenir compte de l'éloignement croissant des ressources et de la construction de routes de transport de plus en plus longues et coûteuses. Dans un rapport publié récemment, Peat, Marwick and Partners et M.M. Dillon Ltd. (1980) laissent entendre que la construction de routes de transport plus longues et la technique actuelle se poursuivront dans l'avenir. Le transport par chaland ou bateau et par voie ferrée, même s'il coûte moins cher, ne constitue une possibilité réalisable que lorsque plusieurs conditions sont réunies. Par exemple, il faut, pour rentabiliser le projet, des voies ferrées et des routes convenables, des installations de manutention appropriées et des ressources en agrégats d'un volume suffisant et qui soient accessibles.

Dans la plupart des régions de l'arrière-pays, le transport par camion constituera le moyen d'amener les agrégats sur les marchés urbains. À l'encontre de la situation décrite par Yundt et Augaitis (1979), l'expansion urbaine rapide, courante au cours des années 1960 et au début des années 1970, ne constituera plus la solution immédiate de post-utilisation au cours des années 80. Le réaménagement devra tenir compte de ce qui est approprié et acceptable aux zones d'exploitation agricole; les projets de réaménagement en zone périurbaine, comme les terrains de golf et les centres commerciaux ne conviennent manifestement pas. Dans les zones rurales, les terres dégradées par les activités d'extraction doivent être remises dans leur état initial – c'est-à-dire remises en exploitation agricole. L'assurance que cette transition soit rapide et efficace nécessite de la prévoyance, comme l'enlèvement et le stockage judicieux de la couche arable et un contrôle ultérieur pendant plusieurs années après le réaménagement, comme l'épierrage, le choix des cultures et le drainage. Les cartes 2, 3 et 4 reflètent la crainte de certains exploitants agricoles, au cours des années 1960 et 1970, que l'industrie des agrégats, qui peut exercer une influence économique et politique considérable, ait des répercussions néfastes sur l'utilisation des terres agricoles. En fait, là où l'extraction de gravier entraînerait la formation de plans d'eau (parce que l'extraction serait faite sous la nappe d'eau souterraine) et où il existait autrefois des terres agricoles de première qualité, il devrait peut-être y avoir des règlements de protection semblables à ceux qui ont été adoptés au Royaume-Uni. Il y a probablement une limite à nos besoins en étangs récréatifs, même s'ils apparaissent écologiquement et esthétiquement souhaitables.

L'étude de Mackintosh et Mozuraitis (1982) a conclu que la restauration agricole en était à ses balbutiements mais qu'elle s'améliorait. La plupart des exemples de restauration d'emplacements en vue d'une utilisation agricole dans la zone échantillon dans le sud de l'Ontario avaient de petites superficies : environ 70 % des emplacements avaient moins de 3 ha, et deux seulement dépassaient 10 ha. Une gamme complète de cultures est pratiquée sur ces propriétés : maïs, soja, tabac, céréales secondaires, fourrage (graminées et légumineuses) et arbres fruitiers (pommes et griottes). Les informations détaillées sur le rendement avant et après extraction d'agrégats ne sont pas concluantes, mais il semble que, dans de nombreux cas, il faudra plusieurs années avant d'atteindre les rendements obtenus avant l'extraction. En règle générale, le rendement sur les terres restaurées n'atteignait, la première année, que 60 % du niveau de production avant extraction (document personnel de D.W. Hoffman).

Mackintosh et Mozuraitis (1982) ont étudié la classification des sols d'après leur utilité, avant et après extraction. Étant donné que la plupart des sites avaient une superficie inférieure à 3 ha, cette analyse peut comporter des erreurs considérables. Néanmoins, lorsqu'on utilise la classification par utilité du sol avant et après extraction comme critère de succès, la comparaison indique que 60 à 70 % des emplacements à l'étude peuvent être considérés comme productifs dans leur programme de réaménagement. Compte tenu du manque de principes directeurs à l'intention de l'industrie pour le réaménagement en fonction de l'agriculture, ce taux de succès est remarquablement élevé et ouvre une perspective optimiste pour les programmes de réaménagement dans l'avenir. Quoi qu'il en soit, les gouvernements ne considèrent plus l'extraction d'agrégats et l'agriculture comme étant des utilisations foncières incompatibles.

Le réaménagement agricole et ses difficultés

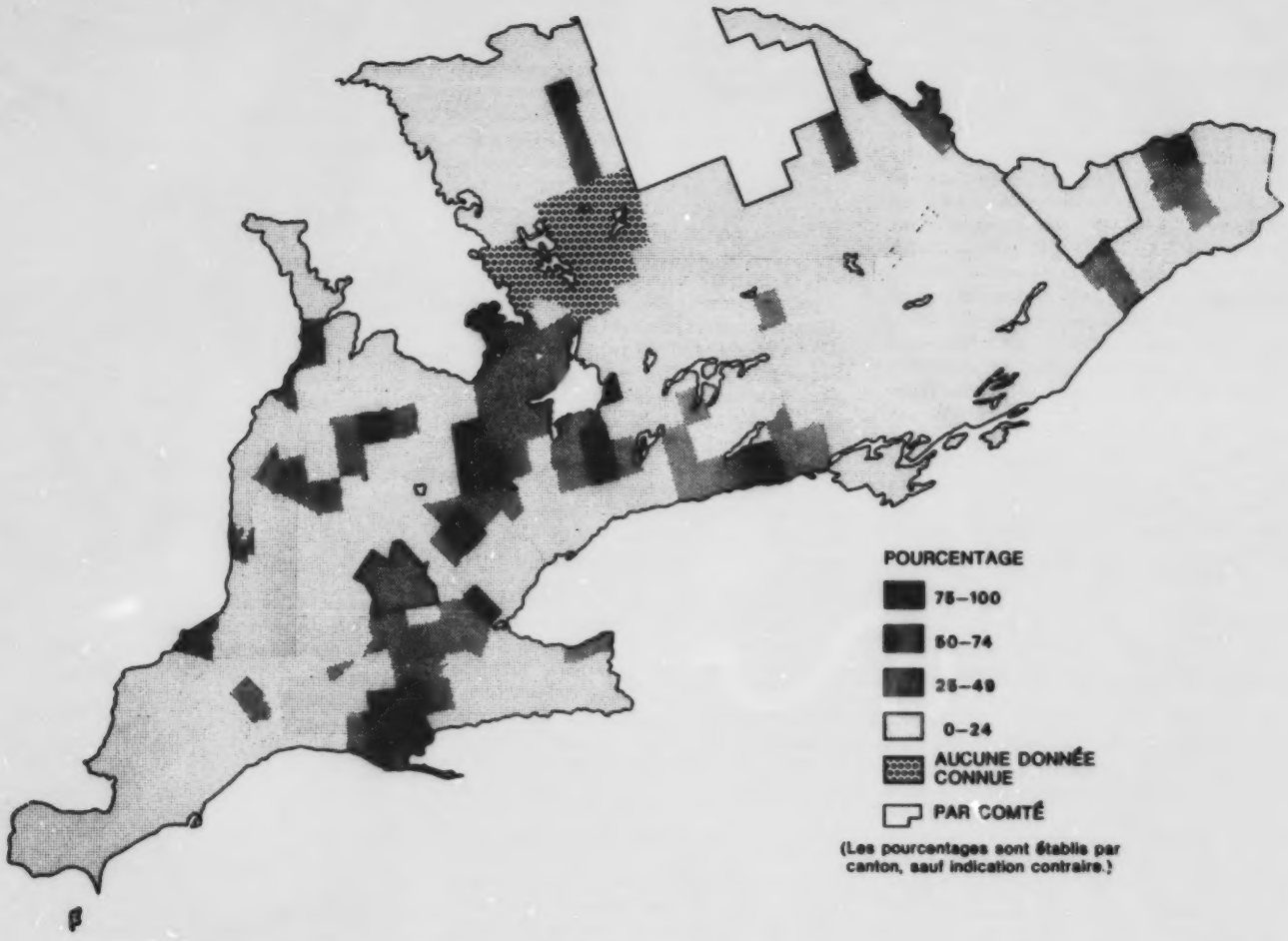
Un problème commun à de nombreuses carrières abandonnées est l'absence de couche arable et de sous-sol pour la régénération du site. Le mélange imprudent de la couche arable et du sous-sol constitue également un problème fréquent. Avant que les exigences de réaménagement des sites soient introduites au Canada, on vendait souvent la couche arable et le sous-sol pour arrondir le revenu. Par conséquent, les coûts de régénération agricole pouvaient être inabordables et il fallait trouver pour les terres une utilisation de rechange (voir McLellan *et al.*, 1979). Aujourd'hui, la couche arable doit demeurer à l'endroit même, et il suffit normalement d'ajouter de 15 à 20 cm de couche arable pour réaliser un réaménagement optimal (expérience ontarienne).

L'engorgement excessif (drainage inapproprié) peut être causé par les diverses conditions suivantes: extraction jusqu'au niveau de la nappe

Photo 10. Dans les zones agricoles, les terres soumises à l'exploitation minière peuvent être recultivées rapidement si le sol superficiel est stocké et remis en place correctement. Un programme de réaménagement efficace a permis de créer cette luzernière (Steed and Evans, Fonthill, Ontario).
A.G. McLellan

CARTE 2.

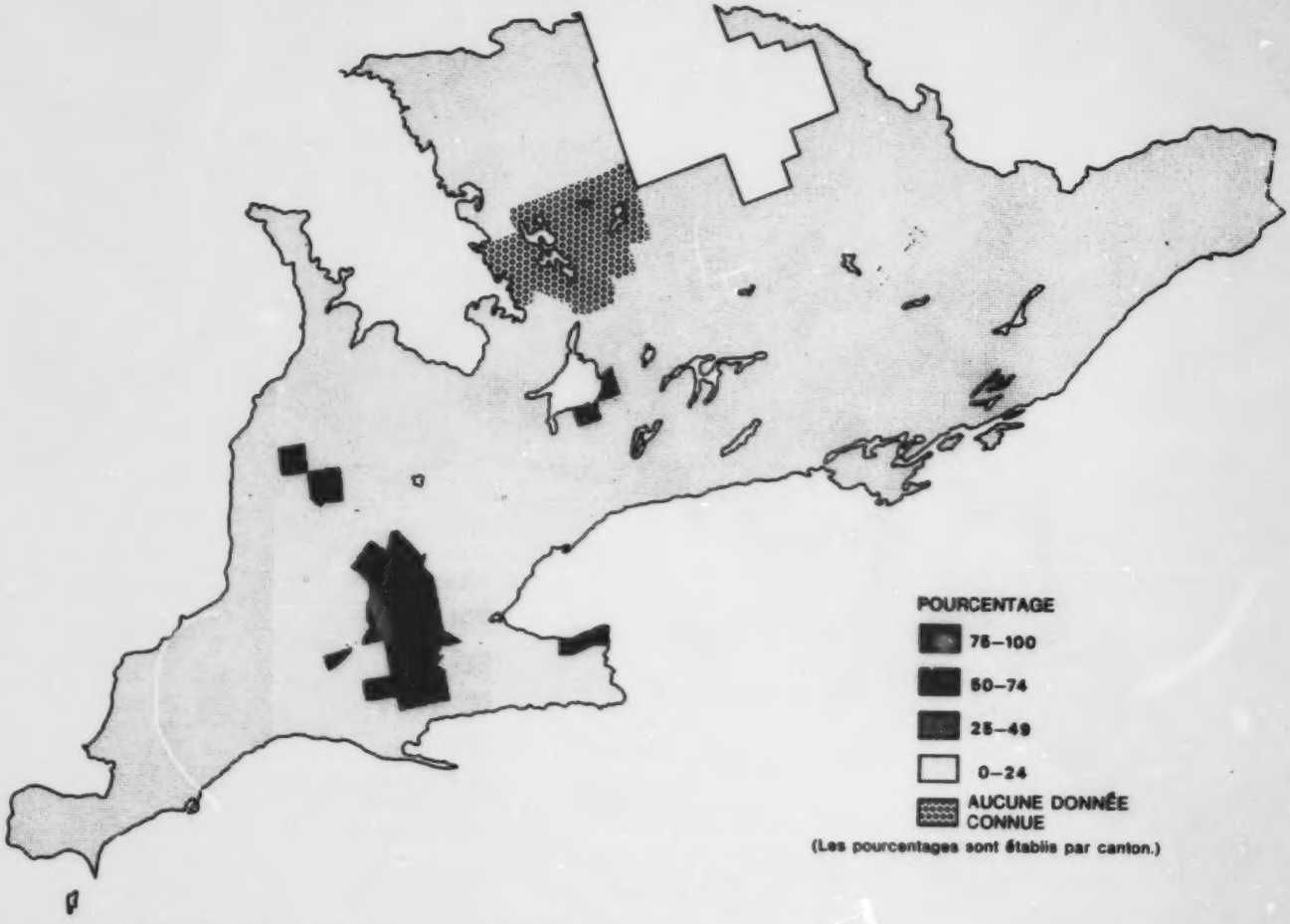
Pourcentage des terres du sud de l'Ontario contenant du sable et du gravier



Source: Centre for Resources Development, University of Guelph, 1972.

CARTE 3.

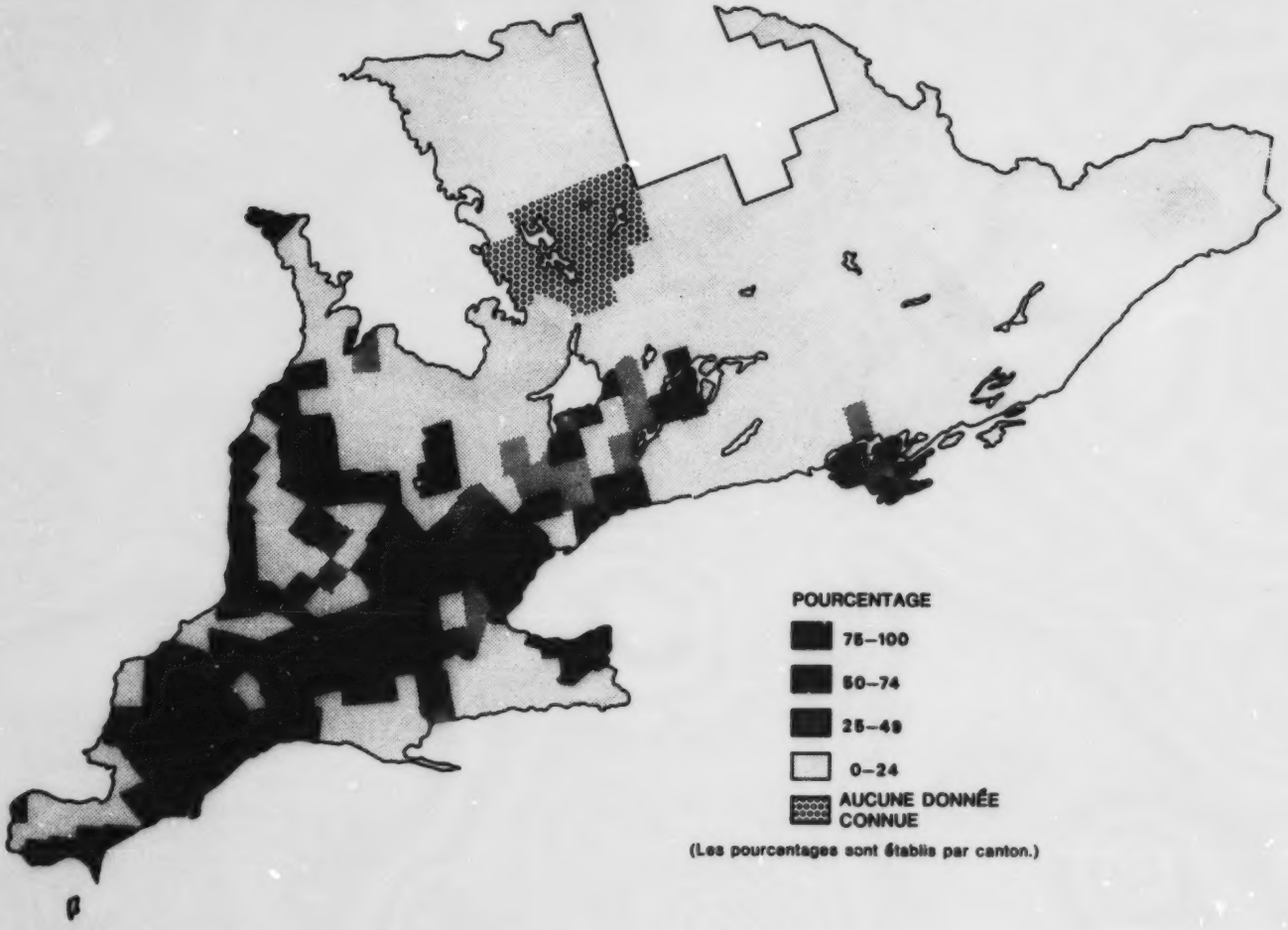
Pourcentage des terres du sud de l'Ontario constituées de sols de classes 1 et 2 contenant du sable et du gravier



Source: Centre for Resources Development, University of Guelph, 1972.

CARTE 4.

Pourcentage des terres de sable et de gravier du sud de l'Ontario constituées par des sols de classes 1 et 2 contenant du sable et du gravier



Source: Centre for Resources Development, University of Guelph, 1972.

phréatique ou sous le niveau hydrostatique; extraction jusqu'à la couche imperméable sous-jacente de matériaux argileux et limoneux; ou incapacité de concevoir des décharges pour l'écoulement de surface sur l'emplacement. En agriculture, une épaisseur minimum de 1 m de couche arable et de sous-sol combinés au-dessus d'une zone saturée d'eau est couramment recommandée pour bien faire pousser la végétation pendant la saison de croissance.

D'autres problèmes courants rencontrés lors de la restauration agricole sont l'empierrement excessif, le choix de programmes ultérieurs de culture et le tassement des fonds des gravières. Le premier de ces problèmes peut être corrigé par l'épierrage, le second par des cultures fourragères - notamment des légumineuses à enracinement profond, comme la luzerne, qui augmentent la teneur du sol en matières organiques, haussent les niveaux de fertilité naturelle du sol et améliorent la structure du sol. Les légumineuses à enracinement profond ont également tendance à atténuer le tassement du sol, une des conditions les plus courantes sur de nombreuses propriétés. Le tassement excessif de la couche arable et du sous-sol, causé par l'équipement lourd, peut nécessiter de la scarification et le labourage profond à l'aide de sous-soleuses.

Un des points intéressants sera l'évaluation que les cultivateurs feront des terres réaménagées. Jusqu'à maintenant, les faits pertinents sont rares. Pour le non initié, les résultats peuvent sembler impressionnants, mais de quelle façon vont réagir les gens du métier? Arrivera-t-il souvent qu'un cultivateur soit prêt à louer ou à racheter ce qui était sa terre? Le prix de rachat sera-t-il comparable aux prix de vente précédents? De quelle façon se comparera la productivité? Une saine gestion permettra-t-elle d'assurer des exploitations rentables, et en combien de temps? De nombreuses questions intéressantes demeurent sans réponse.

Coûts du réaménagement des terres agricoles

Conformément à la loi Ontarienne sur les gravières et les carrières, [Pits and Quarries Control Act, (1971)], un exploitant doit payer 8¢/t pour les matériaux enlevés au cours de l'année civile précédente comme cautionnement pour assurer le réaménagement du site. Le cautionnement maximal payé est de 3 000 $/ha pour chaque hectare qui nécessite un réaménagement. Là où le réaménagement progressif est pratiqué, le cautionnement peut être réduit jusqu'à 1 000 $/ha.

À l'aide des Rehabilitation Claims Reports du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario pour le district de Cambridge, Mackintosh et Mozuraitis ont découvert que

«le coût du réaménagement des terres agricoles variait de 1 712,21 $ à 13 710,68 $ par hectare. En tonnage métrique, le coût moyen des emplacements réaménagés avec succès était de 4,6¢ la tonne, puisqu'il allait de 3,5 à 5,5¢ la tonne. Ces coûts comprenaient le déplacement de la terre, le taillage, l'ensemencement des graminées et la couverture de sol nécessaires, la plantation initiale des graminées et des légumineuses, ainsi que les produits chimiques et les engrais.

Grâce aux informations contenues dans le présent document, il semble que le cautionnement de 8¢ la tonne suffit à assurer le réaménagement fructueux en post-utilisation agricole. De plus, lorsqu'une partie d'une gravière est épuisée, elle ne rapporte plus rien à l'exploitant si elle demeure dans un état de dégradation. À moins qu'elle ne soit vendue - hypothèse peu probable -, il est de l'intérêt du producteur de réaménager au fur et à mesure qu'il procède à l'extraction.

Le réaménagement progressif est moins coûteux à ce stade puisque l'équipement nécessaire est facilement disponible et que la quasi-totalité du sol n'est manutentionnée qu'une seule fois. La valeur minimale du cautionnement requis sera inférieure, car la portion de terre qui nécessite encore un réaménagement est réduite. Cela a pour effet d'augmenter la somme remboursée au producteur à même les fonds et diminue ses coûts de production» (Mackintosh et Mozuraitis, 1982).*

Mackintosh et Mozuraitis recommandent 12 étapes de réaménagement fructueux des terres agricoles*:

« 1. Planification. Il est essentiel de connaître à l'avance ce qui doit être fait, mais le plan doit permettre de procéder, au besoin, à des modifications.

2. Décaper séparément la couche arable, le sous-sol et le mort-terrain. Les matériaux doivent être manutentionnés et stockés séparément. Ne pas mélanger la couche arable avec les autres matériaux.

3. Décaper de petites zones à la fois. Le décapage du tapis végétal expose le sol à une érosion accrue et à une perte de sédiments. Il ne faut décaper que de petites zones qui peuvent être exploitées assez rapidement.

4. Le sol doit être sec au moment d'être déplacé. Les sols sont plus facilement endommagés lorsqu'ils sont humides et ils ne devraient être déplacés que pendant les mois les plus secs, c'est-à-dire de juin à septembre.

5. Réaménager progressivement. La couche arable peut se détériorer pendant le stockage, c'est-à-dire en banquettes, ou peut se perdre. Le réaménagement progressif permet le déplacement direct du sol, il évite ces effets nuisibles et réduit par le fait même le coût du déplacement.

6. Classer et établir les courbes de niveau du fond du puits. Il importe de prévoir un plan global de drainage qui doit inclure une décharge pour l'écoulement de surface. Pour les besoins de l'exploitation agricole, des pentes de 2 à 5 % sont souhaitables.

7. Remplacer le mort-terrain (au besoin), le sous-sol et la couche arable dans la séquence appropriée. L'épaisseur de ces trois matériaux au-dessus du niveau de la nappe phréatique, pour assurer une croissance adéquate de la végétation, devrait être d'environ un mètre.

8. Calculer soigneusement le volume, la profondeur et le secteur à couvrir. L'insuffisance de sol pour terminer la restauration constitue un des problèmes courants.

9. Éviter complètement les tassements massifs de sol. Ce type de tassement peut être évité en déplaçant le sol lorsqu'il est sec et en utilisant de l'équipement léger. En présence d'un tassement massif, il peut s'avérer nécessaire de procéder à un décapage profond (sous-solage) conjointement avec le remplacement du mort-terrain, du sous-sol et de la couche arable.

10. Un programme de gestion de post-réaménagement est essentiel au succès de l'entreprise. Le réaménagement des sols pour les ramener à leur niveau de productivité original nécessite une période d'au moins 5 ans. Le choix des cultures est crucial et l'exploitant devrait attacher une importance toute particulière à l'accroissement de la fertilité du sol et à l'amélioration des structures par l'utilisation de légumineuses.

11. Utiliser de bonnes techniques agricoles. Les activités agricoles devraient être assurées par un cultivateur local. Celui-ci devrait exercer un contrôle strict du choix des cultures, labourer en profondeur et engraisser le sol.

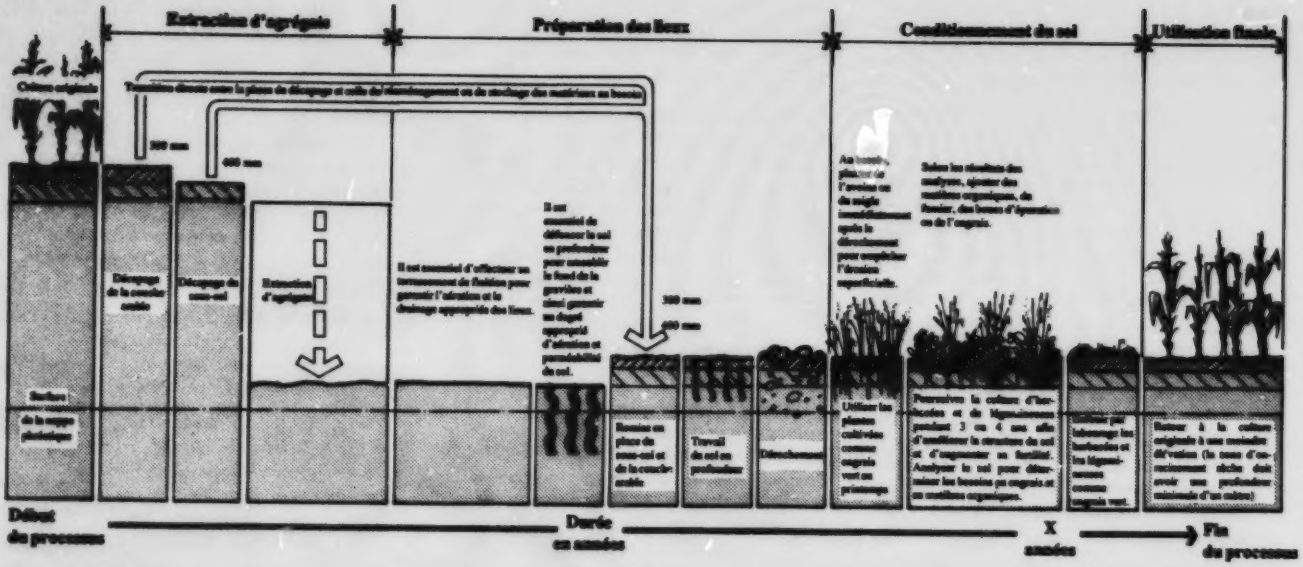
12. Faire preuve de patience. Une restauration efficace est un processus lent. Toute tentative pour prendre un raccourci augmente les risques d'échec.»

La figure 3 montre plusieurs de ces étapes sous forme schématique (Mackintosh et Mozuraitis, 1982). La disposition matérielle apparaît à la figure 4, et le tableau 4 montre l'application de la théorie dans un exemple concret (McLellan et Graham, 1979).

Grâce à une expérience et une formation accrues, le réaménagement fructueux des sols ne pourra que se répandre. Il n'y a aucune rai-

FIGURE 3.

Schéma de la restauration progressive d'une terre agricole



Source : Macintosh et Mozuraitus, 1982, Direction des ressources minérales, ministère des Richesses naturelles de l'Ontario.

son acceptable pour que les producteurs d'agrégats ne laissent pas les terres produire comme avant. À l'encontre de nombreuses zones d'extraction de minerai ou de charbon, la toxicité ne pose aucun problème.

Le Nord canadien – projets différents et impacts différents

Même si davantage d'attention a été accordée aux effets néfastes des projets de mise en valeur à grande échelle dans le Nord – usines de pâtes et papiers, exploitation pétrolière et gazière et de minerai, pipelines – les gravières et les carrières causent également des répercussions importantes. Tous les projets d'envergure nécessitent l'utilisation d'agrégats pour la construction. C'est ainsi qu'on trouve le long de tous les chantiers de construction de pipelines dans le Nord canadien des ballastières d'où l'on tire le gravier nécessaire pour pallier à l'insuffisance du drainage, à la poussée du pergélisol et pour construire des fondations.

Un certain nombre de facteurs spécifiques au Nord intensifient la dégradation des terres par les gravières et les carrières. Dans le Nord, les terres ont été considérées en grande partie comme des dépôts de ressources plutôt que comme des ressources proprement dites. Pour

TABLEAU 4.

Évolution de l'exploitation et du réaménagement d'une sablière et d'une gravière situées près de London, en Ontario (1973–1979)

Début de l'exploitation en 1973		Année 1 (1974)	
D	24 ha	D	13 ha
B	3 ha (production de 25 400 t)	B	6 ha (production de 190 500 t)
C	0 ha	C	8 ha (réserves de 72 600 t)
A	0 ha	A	0 ha
Année 2 (1975)*		**Année 3 (1976)**	
D	6 ha	D	5 ha
B	6 ha (production de 244 900 t)	B	6 ha (production de 371 900 t)
C	8 ha (réserves de 90 700 t)	C	8 ha
A	7 ha	A	8 ha
Années 4 et 5 (1977–1978)		**Années 7 (1980–1981)****	
D	3 ha	D	0 ha
B	6 ha (production de 635 000 t)	B	1 ha
C	10 ha	C	2 ha
A	8 ha	A	24 ha

Les lettres A, B, C, et D correspondent aux zones montrées à la figure 4.

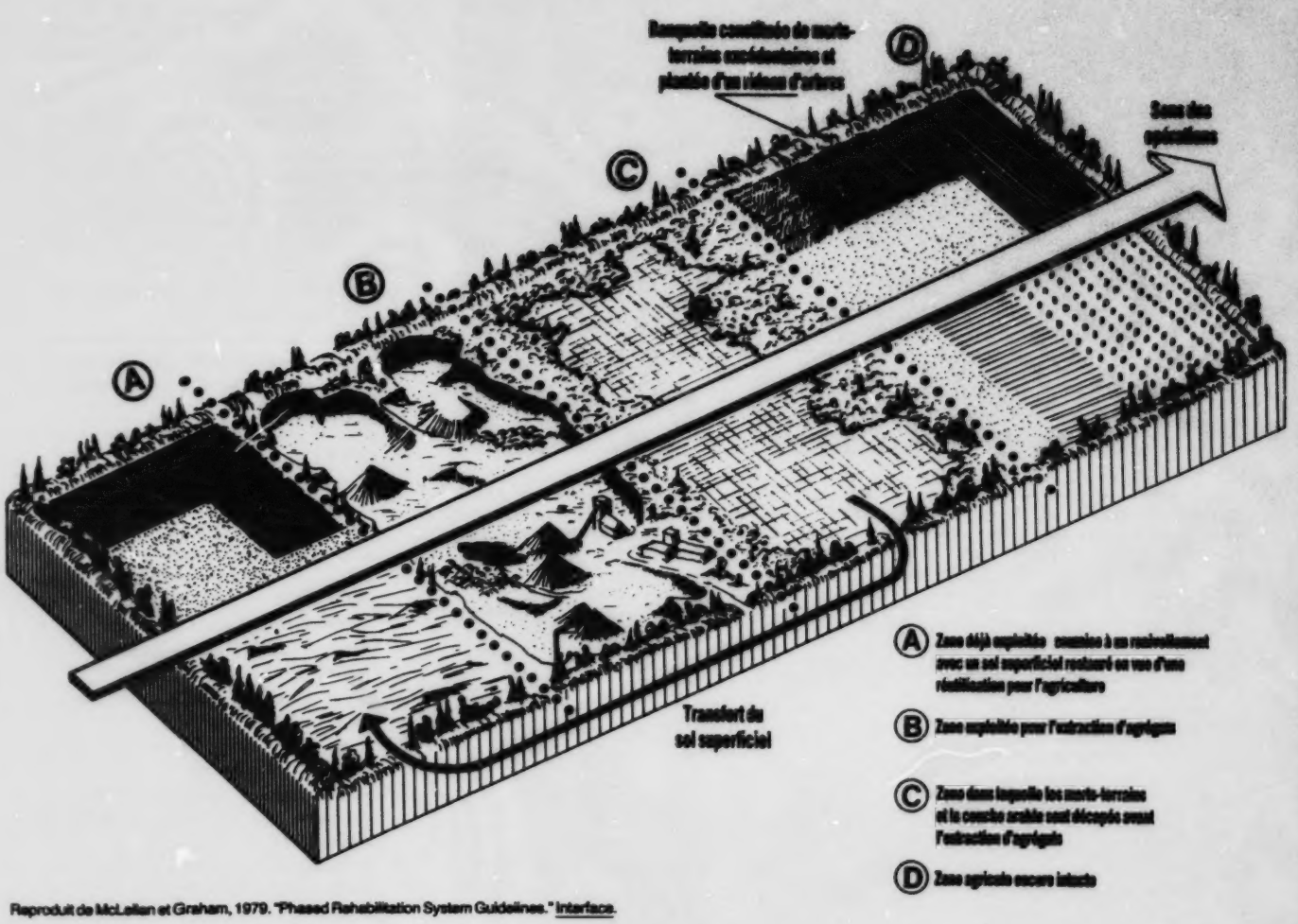
* Les travaux de restauration sont entrepris après deux années d'exploitation

** Le processus s'est terminé en octobre 1981.

Source: McLellan et Graham, 1979 Interface.

FIGURE 4.

Modèle de réaménagement progressif



Reproduit de McLellan et Graham, 1979. "Phased Rehabilitation System Guidelines." Interface.

cette raison et parce que les terres semblent illimitées dans ces régions, très peu d'efforts ont été faits pour réaménager les emplacements d'extraction, et la population n'est pas assez dense pour constituer des groupes de pression efficaces. Sous les hautes latitudes, la fragilité de l'écologie et la lenteur de la croissance signifient que les perturbations causées au sol par l'extraction des agrégats sont plus longues à corriger. De plus, le Nord se caractérise par la structure de son régime foncier. Dans le Sud, de 85 à 90 % des gravières et des carrières se situent sur des terrains privés (Marshall, 1983*b*). Toutefois, la quasi-totalité du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest de même que les districts nordiques des provinces sont des terres de la Couronne et ne sont pas soumis aux règlements provinciaux conçus pour prévenir les dommages environnementaux ou promouvoir le réaménagement.

Il existe environ 25 textes de lois (lois, ordonnances et règlements) qui régissent l'aménagement des terres dans le Territoire du Yukon et les Territoires du Nord-Ouest, mais seulement quelques lois et règlements importants touchent l'aménagement des carrières et des sablières, dont la Loi sur les terres territoriales, le Règlement sur l'utilisation des terres territoriales, le Règlement sur l'exploitation de carrières territoriales et la Loi sur les pêcheries.

La compétence sur les terres situées autour de nombreuses agglomérations du Territoire du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest, a été transférée du gouvernement fédéral au gouvernement territorial; ces terres portent le nom de terres du commissaire. Le gouvernement territorial ou l'agglomération, ou l'un et l'autre, gère d'abord l'ouverture d'une carrière communautaire avant d'en confier l'administration au conseil communautaire. Il faut encore obtenir du gouvernement territorial un permis d'extraction des matériaux dans une carrière communautaire (MacLaren Plansearch, 1982).

Dans le Nord, les préoccupations environnementales ont rarement reçu l'attention qu'elles méritaient dans le choix de l'emplacement et de l'exploitation de la carrière. Auparavant, la planification et la coordination des activités relatives aux carrières étaient bien rares. De nombreuses carrières ont défiguré le paysage dans certaines petites régions et ont détérioré l'environnement. Une fois la carrière épuisée, il y a

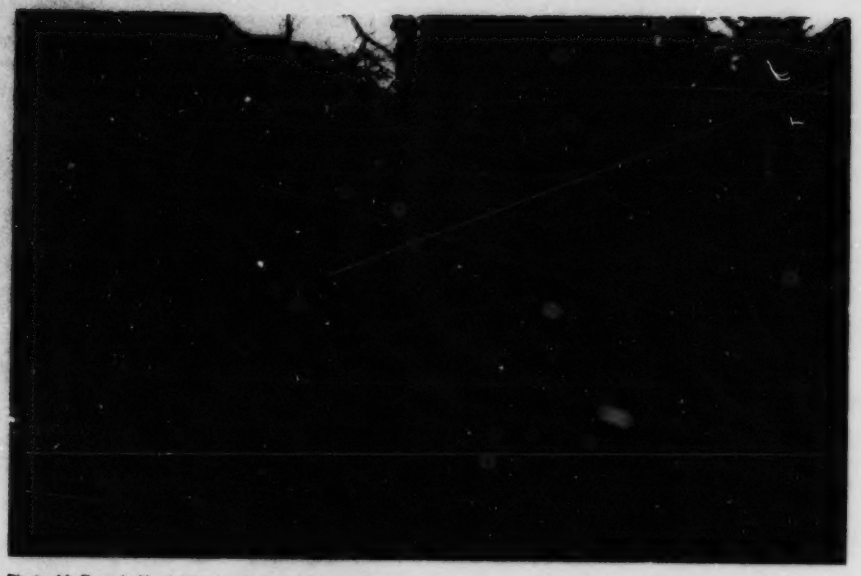


Photo 11. Dans le Nord, l'épaisseur des morts-terrains varie de quelques centimètres à plusieurs mètres, mais même les plus épais devraient être conservés en vue de restaurer les gravières. Le sol organique (couche arable et muskeg) doit être enlevé et stocké indépendamment du sol inorganique. On voit ici un exemple de mauvaise gestion: le sol superficiel et les morts-terrains ont été mélangés et déversés parmi des arbres situés à proximité du lieu d'extraction. Non seulement les morts-terrains seront peu utiles pour la régénération du milieu, si jamais on s'en préoccupe, mais les arbres sont morts.
Programme des affaires du Nord, ministère des Affaires indiennes et du Nord.

Photo 12. L'octroi d'un permis est soumis à un certain nombre de conditions imposées à l'exploitant par l'inspecteur. Ces conditions peuvent avoir trait à la protection de milieux sensibles - lacs et cours d'eau, aires fauniques, sites et monuments archéologiques, aires récréatives, entités exceptionnelles, pergélisol - qui pourraient être perturbés ou détruits par l'exploitation d'une gravière ou d'une carrière.
Programme des affaires du Nord, ministère des Affaires indiennes et du Nord.

peu d'effort sinon aucun pour la remise en état du terrain.

Toutefois, les exploitants de carrières et de sablières disposent maintenant d'informations utiles depuis qu'un nouveau manuel, intitulé Guide de l'environnement: carrières et sablières (MacLaren Plansearch, 1982), a été publié par le ministère fédéral des Affaires indiennes et du Nord. Ce guide donne les lignes directrices en matière d'environnement pour l'exploitation des carrières et des sablières et la remise en état des lieux dans le Territoire du Yukon et les Territoires du Nord-Ouest. Il ne fixe pas de nouvelles normes mais décrit en fait les méthodes recommandées qui permettront de préserver les valeurs culturelles, esthétiques et écologiques compte tenu de l'état actuel de la technologie. Le manuel recommande des procédés d'exploitation qui respectent l'environnement tout en étant efficaces en terme d'exploitation.

Bien qu'elles soient assujetties à l'ensemble des lois, des ordonnances et des règlements, ces lignes directrices seront aussi un outil précieux pour la réduction des effets sur l'environnement. Voici quelques-unes des méthodes ou recommandations suggérées dans le manuel:

- déterminer la quantité d'agrégats nécessaire avant l'exploitation;
- exploiter une carrière existante si possible; ne créer une nouvelle carrière que si aucune autre carrière ne peut fournir les matériaux nécessaires;
- situer la carrière à 30 m au moins de tout plan d'eau;
- ne creuser le lit d'une rivière ou les plages que si aucune autre source de matériaux n'est disponible;
- ne pas harceler la faune;
- n'effectuer aucune activité dans les régions écologiquement fragiles ou pendant les périodes critiques;
- situer la carrière à une distance spécifique de tout lieu archéologique connu;
- ne pas ouvrir de carrière dans les zones de loisirs existantes ou prévues;
- ne pas situer de carrière dans les zones publiques très utilisées;
- les machines, les véhicules et le matériel ne doivent pas être utilisés à moins de 150 m d'un pingo;
- la couche arable doit être enlevée et conservée dans un endroit à part;
- dissimuler la carrière si possible;
- tous les emplacements de carrières doivent être remis en état;
- vérifier l'utilisation future du lieu avant la remise en état;
- lorsqu'il n'y a aucune utilisation publique prévue pour l'avenir, le lieu doit être remis en état et en harmonie avec le paysage et la végétation de l'endroit.

Les carrières et les sablières continueront vraisemblablement d'être un élément important de l'aménagement dans le Nord. L'exploration et l'extraction pétrolières, gazières et minérales encouragent la croissance d'un bon nombre d'agglomérations dans le Nord. Les agrégats sont nécessaires pour la construction de routes et de bâtiments, les pistes d'atterrissage, les campements de travail, les camps provisoires et autres infrastructures. La rareté relative de matériaux granulaires dans le Nord ainsi que la

planification et la gestion inadéquates des carrières et des sablières dans le passé ont causé des problèmes environnementaux. Bien que le manque de matériaux de grande qualité demeure une préoccupation, il existe d'autres possibilités de réduire les effets de l'extraction sur les terres. Il y a des facteurs qui peuvent réduire le stress exercé sur les terres. Parmi ces facteurs, citons: l'utilisation d'ouvrages de référence comme le Guide de l'environnement: carrières et sablières; le choix d'emplacement judicieux et l'exploitation efficace des carrières et des sablières; et l'exploitation au maximum de la quantité de matériau à chaque lieu et l'amélioration de la remise en état du lieu, une fois l'exploitation terminée.

La planification en fonction des zones d'extraction concentrée d'agrégats

Les sources d'agrégats ne sont pas uniformément réparties ou nécessairement bien situées par rapport aux principaux centres de demande. On doit donc se demander dans quelle mesure les paysages (et les résidants) peuvent supporter la détérioration et la dégradation de ces zones riches en agrégats. De telles zones offrent un défi aux responsables de la planification locale. Une utilisation foncière considérable peut avoir des impacts très néfastes sur la collectivité, et cette dernière risque de ne pas réaliser les avantages de cette utilisation considérable.

Trois zones qui illustrent bien ce problème en Ontario sont les cantons d'Uxbridge et de Caledon, qui sont riches en sable et en gravier, et les cantons le long de l'escarpement de Niagara, dont l'assise rocheuse contient de la dolomite de haute qualité.

Canton d'Uxbridge

Ce canton se situe à environ 40 km au nord-est de Toronto. Au cours des années 1950 et au début des années 1960, l'expansion de Toronto a rapidement épuisé les ressources avoisinantes de sable et de gravier. Étant donné que les ressources locales étaient taries ou, dans certains cas, annihilées par une expansion ne tenant pas compte des utilisations multiples, les producteurs d'agrégats ont commencé à chercher la source de matériaux la plus rapprochée pour satisfaire l'appétit apparemment insatiable du marché torontois. L'emplacement évident était la moraine d'Oak Ridges située à Uxbridge.

La rapidité avec laquelle les sablières et les gravières se sont développées dans le canton a consterné un grand nombre de résidants (voir la séquence sur les cartes 5 et 6). Soudainement, cet attrayant paysage vallonné, avec ses fermes, ses bois, ses zones récréatives et ses villages pittoresques, a semblé être ravagé par l'extraction des agrégats. La vue du lac Ontario et des hauts immeubles de Toronto au loin a été remplacée par les cicatrices laissées par l'exploitation des carrières. La région d'Uxbridge a semblé payer le prix de l'expansion de Toronto.

Au milieu des années 1960, les résidants et les écologistes ont fait front commun contre les assauts des activités extractives. Des règlements ont été rapidement adoptés et des associations se sont formées spécialement pour freiner l'expansion de l'industrie des agrégats. Les coûteuses batailles juridiques et les pressions auprès des représentants élus, engagées par les deux parties, ont hâté l'adoption de la loi ontarienne de 1971. Aujourd'hui, même si les deux parties ne se sont pas entièrement réconciliées, les producteurs d'agrégats commencent à comprendre la perception de leurs activités par le public. Les exploitations sont maintenant moins visibles des autoroutes et des résidences; la quasi-totalité des terres entièrement exploitées sont de nouveau cultivables; des compromis sont intervenus au sujet des routes de transport par camion et des dispositifs de sécurité. Une planification acceptable tant sur le plan esthétique qu'environnemental est plus courante que par le passé. Le gouvernement a établi que les responsables locaux et régionaux de la planification doivent reconnaître l'importance provinciale des sources d'agrégats. Toutefois, il existe encore des antagonismes. Ils sont le reflet de l'incompatibilité fondamentale entre l'exploitation intensive d'agrégats et les préoccupations des gens en ce qui concerne le caractère de leur collectivité – conflit qui, malgré les lois et le réaménagement progressif, ne pourra jamais être entièrement résolu.

Canton de Caledon

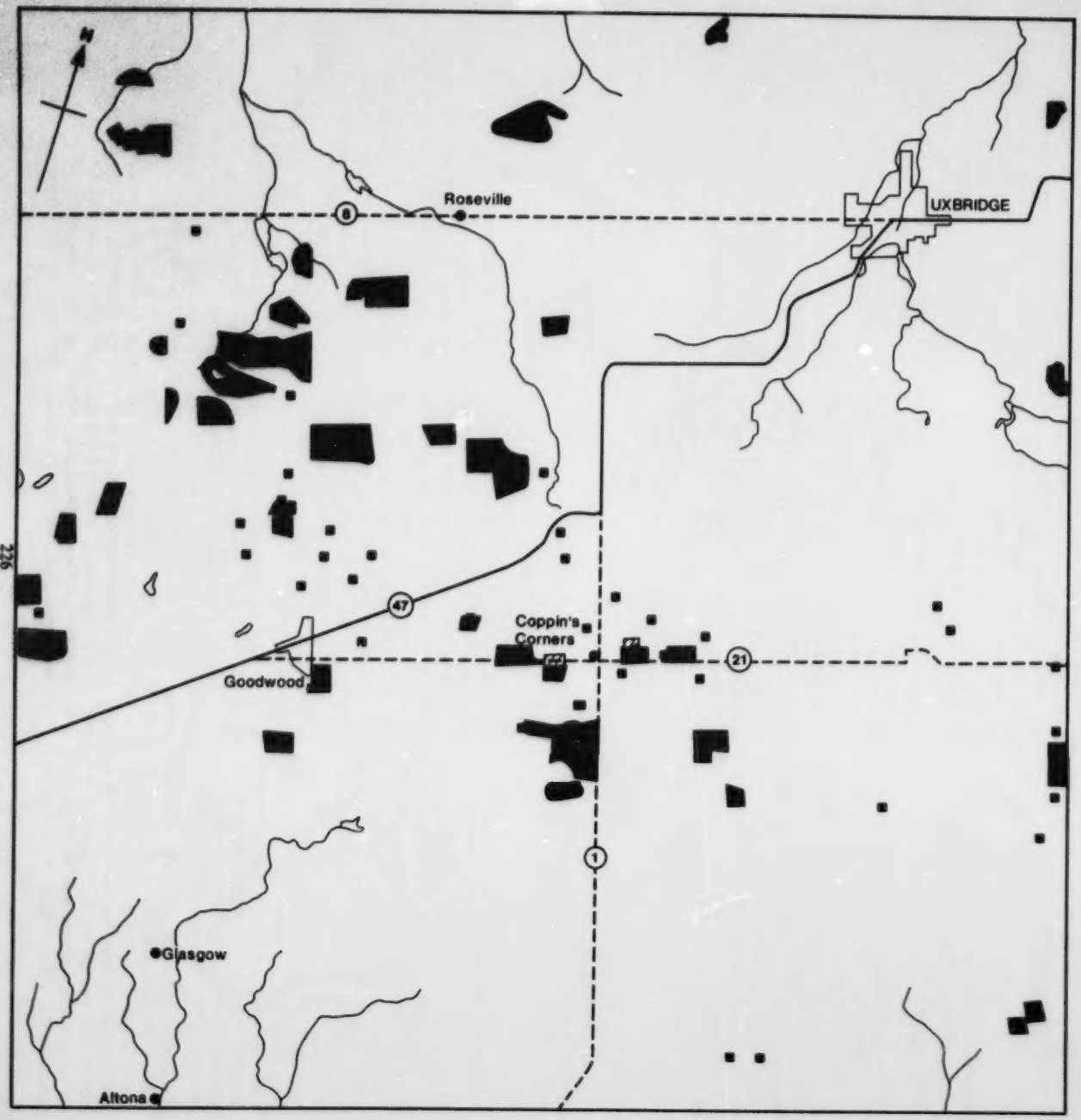
Dans le canton de Caledon, une épaisse et vaste étendue de sable et de gravier d'origine glaciaire et provenant d'un déversoir recouvre l'escarpement de Niagara à proximité de Caledon Village et de Forks of the Credit. Cet endroit, une des régions les plus attrayantes de l'Ontario, constitue une source d'agrégats, qui est pour Mississauga, Brampton et l'ouest de Toronto ce qu'Uxbridge est pour l'est de Toronto. L'excellence du réseau routier constitue la voie apparemment idéale pour desservir par camion toutes les régions en expansion à l'ouest de Toronto.

L'impact sur l'utilisation locale des terres est énorme. Sur la carte 7 et la photo 15, on voit la zone affectée. Une société établie depuis longtemps (compagnie A sur la carte 7) a déjà obtenu un permis d'extraction de sable et de gravier sur une superficie de 650 ha. Les terres étaient à l'origine une série d'élevages de chevaux. Aujourd'hui, au moins 200 ha de ces terres ont été utilisées pour l'extraction d'agrégats. L'ensemble de ces terres sera irrémédiablement perdu pour l'agriculture parce que les ressources en agrégats se trouvent sous la nappe phréatique. La compagnie finance actuellement un programme élaboré de réaménagement dont les premiers résultats seront l'aménagement d'un club sportif, d'une zone résidentielle à faible densité, de plans d'eau pour les activités de loisirs, etc.

Une deuxième compagnie (compagnie B) détient un permis d'exploitation pour deux propriétés d'environ 200 ha en voie d'épuisement rapide. La compagnie demande un permis d'exploitation sur une troisième propriété. Elle commence à réaliser les avantages d'une planification intégrée. Une troisième compagnie (compagnie C), qui possède des intérêts considérables, exploite actuellement environ 150 ha dont la majeure partie est déjà épuisée. Des réserves adjacentes de 150 ha ont déjà fait l'objet d'une étude. La troisième compagnie appartient à un groupe d'hommes d'affaires torontois qui, à l'instar des propriétaires de la première compagnie, sont conscients des avantages importants qu'offre la situation de leur propriété – proximité d'une route importante, à une heure de route pour plus de 4 millions de personnes. Ce site, qui a rendu les ressources en agrégats si précieuses, offre également de nombreuses autres possibilités futures d'utilisation des terres. Cette capacité permet d'assurer que la dégradation du sol sera de courte durée et que ces parcelles seront rapidement utilisées au maximum. Une mesure récente prise par le gouvernement de l'Ontario (modification de la réglementation), qui impose une forte pénalité pour les terres dégradées ou non réaménagées, permettra d'accentuer cette tendance.

Il serait juste de dire que, jusqu'à une date récente, à peu près rien ne prouve que les terres dégradées par l'extraction des agrégats à Caledon sont en voie de revenir à l'état productif. Il n'y a eu aucune collaboration en matière de planification entre les diverses compagnies d'extraction d'agrégats. Les octrois de permis par le gouvernement provincial ont semblé outrepasser ou empêcher toute planification globale par les responsables locaux. De toute évidence, l'apparence future et l'utilisation des terres dans cette partie de l'Ontario étaient dans une grande mesure à la merci des décisions prises par les producteurs d'agrégats qui ne résidaient pas dans la région.

Plus récemment, une association de résidants a été formée pour lutter contre la poursuite de l'extraction des agrégats dans le canton. Néanmoins, une loi prévoyant mieux l'obligation de planifier, la planification du bassin versant par les responsables de la conservation de Credit Valley, une demande du gouvernement provincial pour améliorer les plans d'aménagement des exploitations d'agrégats, les efforts conjugués des producteurs d'agrégats et une attitude plus saine de toutes les parties laissent croire que les programmes de réaménagement de Caledon pourraient devenir un «exemple pour le



CARTE 5.

Évolution de l'extraction d'agrégats dans l'ancien canton d'Uxbridge (Ontario) entre 1954 et 1966

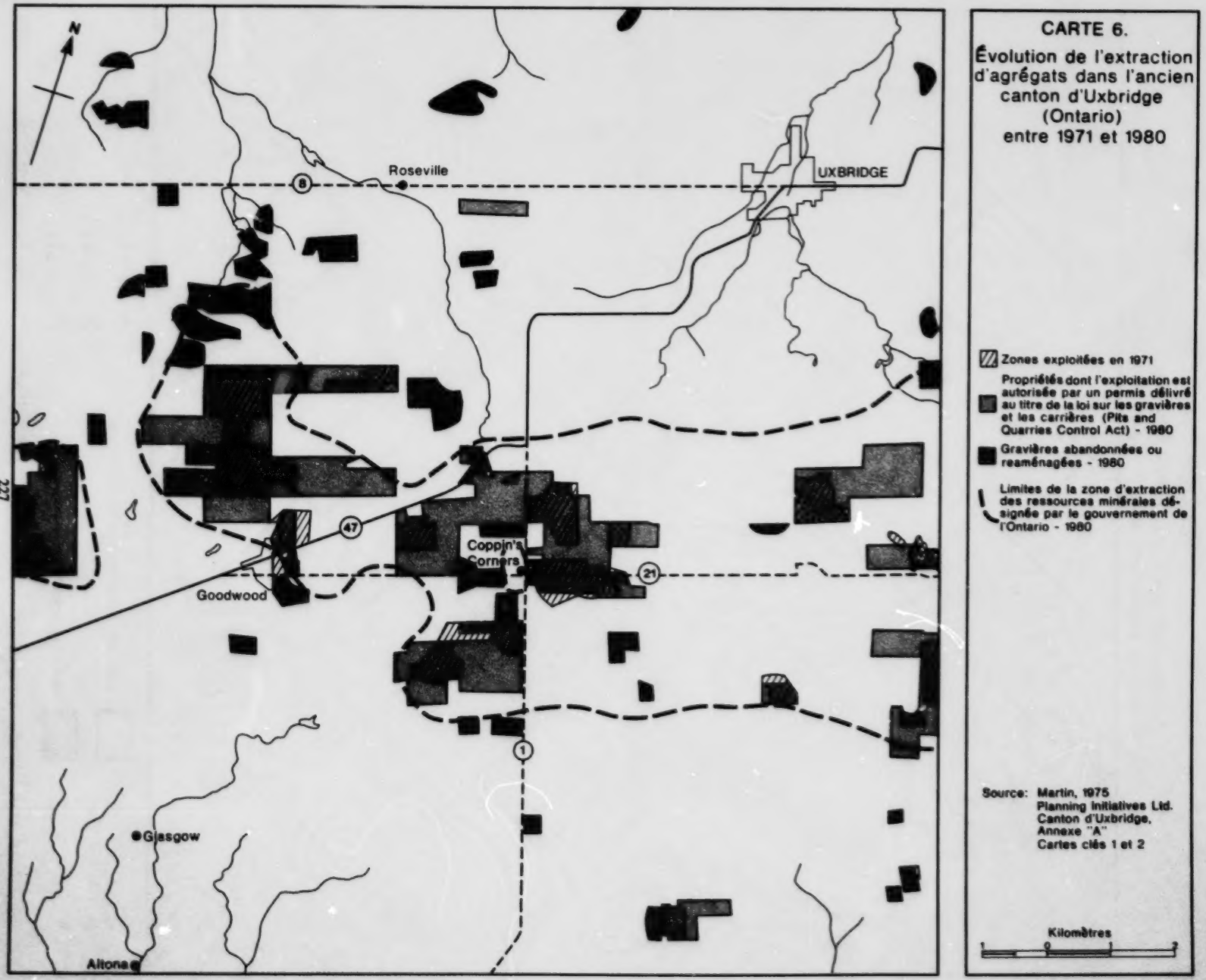
Zones exploitées en 1954

Zones exploitées en 1961

Position des gravières et sablières en 1966

Source: Hewitt, 1969
Martin, 1975
Planning Initiatives Ltd.

Kilomètres
1 0 1 2



CARTE 6.

Évolution de l'extraction d'agrégats dans l'ancien canton d'Uxbridge (Ontario) entre 1971 et 1980

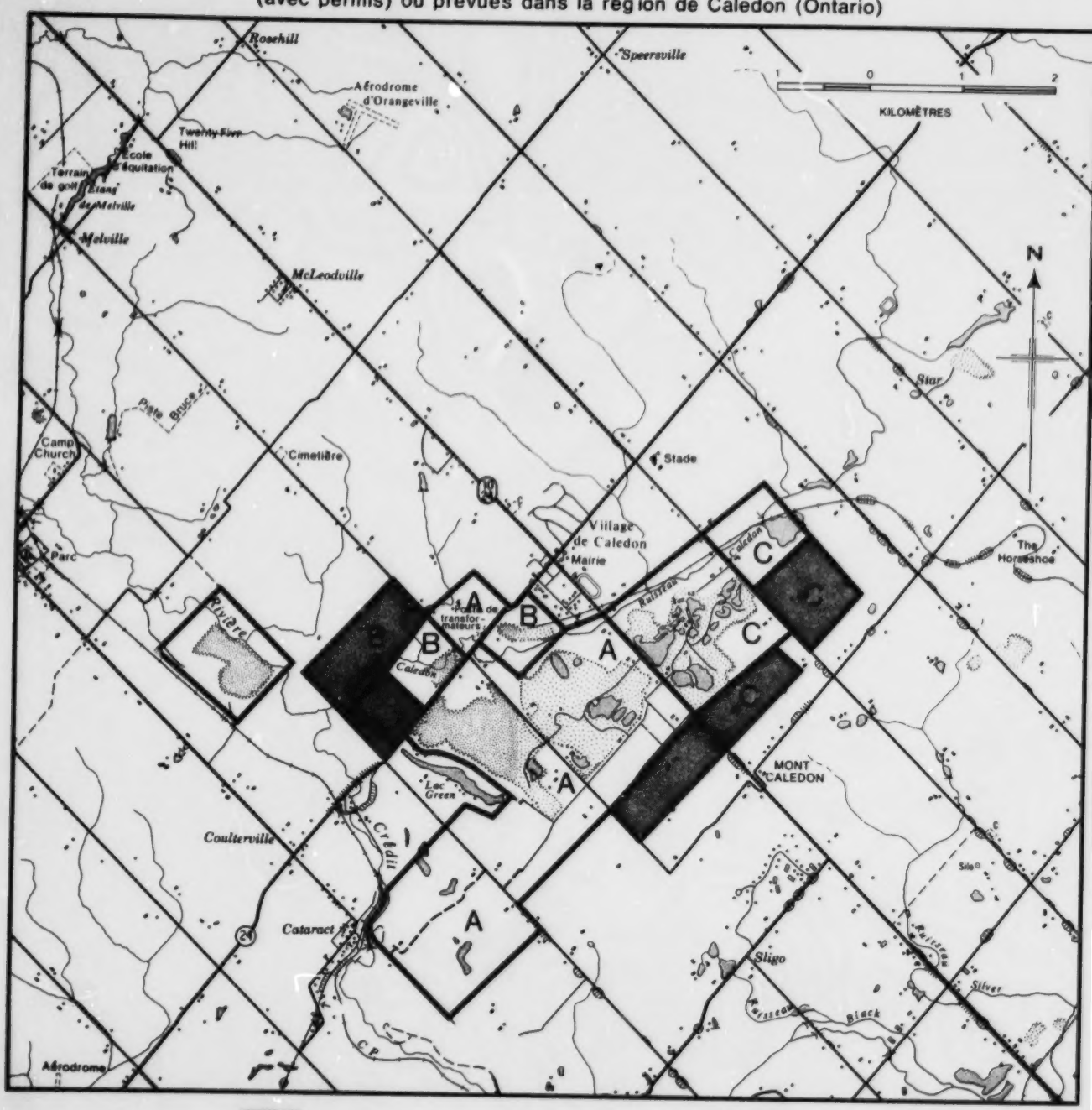
- Zones exploitées en 1971
- Propriétés dont l'exploitation est autorisée par un permis délivré au titre de la loi sur les gravières et les carrières (Pits and Quarries Control Act) - 1980
- Gravières abandonnées ou reaménagées - 1980
- Limites de la zone d'extraction des ressources minérales désignée par le gouvernement de l'Ontario - 1980

Source: Martin, 1975
Planning Initiatives Ltd.
Canton d'Uxbridge,
Annexe "A"
Cartes clés 1 et 2

Kilomètres
0 1 2

CARTE 7.

Étendue des zones d'extraction d'agrégats existantes (avec permis) ou prévues dans la région de Caledon (Ontario)



Zones dont l'exploitation est autorisée (1981)

Zones dont l'exploitation est prévue (1982)

A....Société A

B....Société B

C....Société C

Carte de base reproduite avec la permission d'Énergie, Mines et Ressources Canada.

Photo 13. Cette photographie aérienne, prise en 1980, d'une zone située près de Caledon (carte 7) montre l'étendue des dégâts causés par l'extraction d'agrégats.
Northway-Gestalt Corporation

Canada» (B. Black, directeur de la planification du canton de Caledon, juin 1982, document personnel).

Il apparaît clairement qu'un plan prévoyant l'utilisation multiple des terres doit être appliqué lorsque l'extraction est réalisée à une échelle aussi considérable et intensive que celle-ci. Les ensembles résidentiels de forte et faible densité, les possibilités récréatives actives et passives, l'agriculture, les zones vulnérables et la protection environnementale constituent tous des utilisations ou des questions foncières qui doivent être prises en compte dans un sens plus large que les études site par site, auxquelles on procédait autrefois. Il n'y a aucune raison pour que les modifications de la surface, consécutives à l'extraction des agrégats, n'engendrent pas un paysage propre à diverses utilisations futures, mais cela ne pourra se produire que grâce à des méthodes de planification beaucoup plus sensibles, intégrées et bien conçues.

Impact de l'exploitation des carrières dans l'escarpement de Niagara; préservation des espèces et du paysage

L'extraction à ciel ouvert modifie inévitablement le paysage – ne serait-ce que par un abaissement de l'élévation. Dans certains cas, pourtant, le paysage résultant sera suffisamment différent pour empêcher toute remise en l'état initial de la terre ravagée. On en a un bon exemple lorsque les ressources se trouvent sous la nappe phréatique ou un modelé agréable. Dans les situations de ce genre, les décisions devraient être prises avec plus de prudence que dans le cas où le terrain d'extraction provisoire d'agrégats peut être remis en état.

Même si les parcs nationaux et provinciaux sont protégés - sauf urgence nationale - contre l'activité extractive, ce ne sont pas tous les paysages très appréciés qui sont protégés de cette manière. Les paysages uniques ou spectaculaires doivent souvent leur origine aux mouvements des glaciers ou aux formations géologiques, et les matériaux qui les composent sont fréquemment recherchés comme sources d'agrégats (p. ex., le kame Fonthill et l'escarpement de Niagara en Ontario). Le caractère exceptionnel du paysage ou l'absence d'équivalents aussi importants ailleurs, le niveau de préoccupation du public et les nombreux autres facteurs pertinents rendent les approbations d'exploitation beaucoup plus difficiles, et pour cause.

Voilà certains des problèmes auxquels le gouvernement de l'Ontario doit faire face en ce qui concerne l'escarpement de Niagara, paysage remarquable dans une zone relativement banale du sud de l'Ontario. Sa proximité des grands marchés urbains et la qualité de son recouvrement rocheux de dolomite de Lockport a assuré sa rentabilité aux producteurs d'agrégats. Toutefois, pour le public, la présence de chalets, de pentes de ski et d'autres installations de loisirs

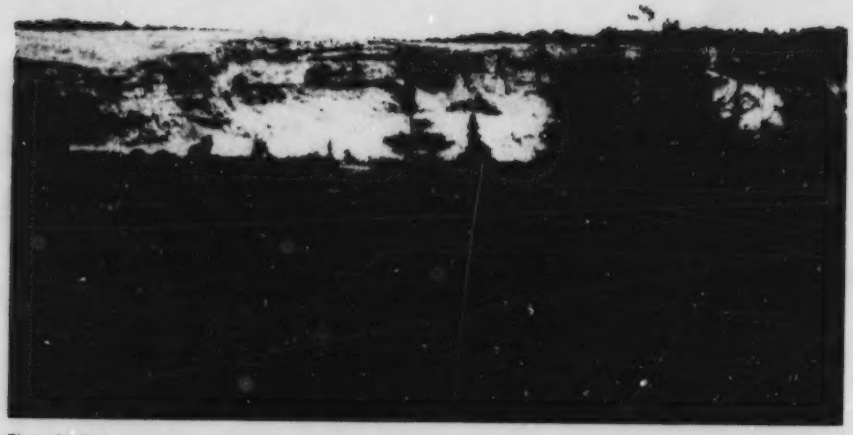


Photo 14. Dans certains cas, les aires naturelles les plus significatives, comme celle-ci, situées près de Kitchener, en Ontario, peuvent être incluses dans une «zone de protection de l'environnement».
A.G. McLellan

dans ces paysages naturels et attrayants a donné à ces zones uniques une valeur récréative élevée. Souvent, les préférences de mode de vie (certaines ont pris la forme de pistes de randonnée pédestre comme le Bruce Trail entre Niagara Falls et Tobermory) suscitent une opposition immédiate à l'ouverture de gravières et de carrières et à leurs effets néfastes. Les conflits inévitables ont entraîné des contraintes législatives provinciales qui, même si elles ont été d'abord imposées en 1969, continuent d'évoluer et n'ont toujours pas atteint un point définitif au moment de la rédaction du présent document en 1983.

Il est clair que des cas difficiles comme celui de l'escarpement de Niagara existent un peu partout au Canada et demandent une inspection, une analyse technique et un point de vue plus approfondis qu'il n'est possible de l'espérer dans les cantons aux prises avec ces problèmes.

Une situation semblable pourrait se produire pour les espèces en voie d'extinction. Ainsi, le libre accès à des ressources en agrégats peut mettre en danger les habitats et les aires de reproduction que sont les marais pour les plantes et les espèces animales. L'aménagement des entreprises d'extraction d'agrégats devrait toujours tenir compte de ces problèmes. Pourtant, dans les cas où des paysages uniques ou des espèces en voie d'extinction courent un risque, on doit accepter que certaines propriétés demeurent totalement intouchées. Même le meilleur programme de réaménagement ne pourra assurer une restauration parfaite (définition de la National Academy of Sciences). Dans de telles situations, mieux vaudrait assurer une protection complète, c'est-à-dire empêcher toute intervention, et que les niveaux supérieurs du gouvernement fassent preuve d'initiative et, si l'achat semble être la seule possibilité, fournissent les fonds nécessaires.

EXPÉRIENCE CANADIENNE ET LEÇONS À TIRER – MESURES LÉGISLATIVES

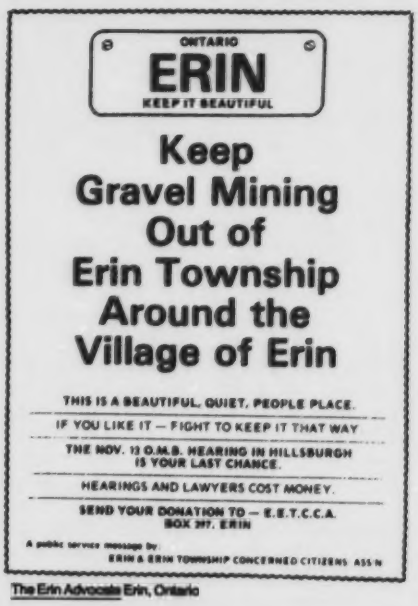
Les débats qui ont marqué les années 1960 et 1970 ont montré clairement que les gouvernements provinciaux seraient incapables d'établir des politiques rationnelles pour guider le développement de l'industrie de l'extraction des agrégats sans une certaine compréhension de la portée des ressources provinciales en agrégats. Presque toutes les provinces ont désormais dressé des cartes des ressources en agrégats et établi des programmes d'inventaire. En Saskatchewan, au Manitoba, en Alberta et en Ontario des tentatives précises sont faites pour associer ces programmes à l'élaboration de stratégies d'utilisation des terres et pour éviter la stérilisation malencontreuse.

Période avant 1970

Avant 1970, pratiquement aucun contrôle provincial ou fédéral n'aurait pu limiter les méfaits des activités des gravières et des carrières. Les effets néfastes de ces activités sur les collectivités de même que la prise de conscience des problèmes environnementaux ont amorcé un processus de changement. Les problèmes ont d'abord semblé locaux, et certains des premiers efforts importants ont été faits dans les cantons ruraux qui, peu de temps auparavant avaient souffert de l'expansion considérable des gravières et des carrières tout en faisant l'expérience de l'invasion des citadins qui cherchaient un refuge contre le stress et la cherté de la vie urbaine. L'accroissement des activités d'extraction, de la circulation, du bruit, de la poussière et des perturbations environnementales causé par l'exploitation des gravières et des carrières ont effrayé ces ex-citadins. Ils ont évidemment manifesté leur vive opposition (figure 5). Les conseils de canton ont répondu aux demandes des résidants et, reconnaissant les avantages fiscaux limités des gravières et des carrières (en général les exploitations d'agrégats sont imposées à un taux légèrement supérieur à celui des fermes) et les coûts accrus que ce type d'entreprise entraîne (comme l'entretien des routes), ils n'ont pas tardé à appliquer des règlements restrictifs (zones-tampon, heures d'exploitation, etc.) ou à empêcher carrément l'ouverture de nouvelles exploitations. Cette opposition a incité les producteurs d'agrégats et leurs associations à recourir aux gouvernements provinciaux pour établir certains contrôles raisonnables de planification.

FIGURE 5.

Exemple de l'opposition du public à l'extraction d'agrégats



The Erin Advocate Erin, Ontario

Réactions de la Colombie-Britannique et de l'Ontario aux problèmes des gravières et des carrières dans les années 1970

Pendant que ces problèmes surgissaient, les gouvernements provinciaux, poussés par le changement des priorités du public, commençaient à créer des portefeuilles pour les questions générales d'environnement. Une multitude de règlements environnementaux étaient promulgués; ils touchaient la protection de la faune, de la flore et de leurs habitats, la qualité des eaux superficielles et souterraines, la pollution et l'utilisation des substances chimiques, l'émission de bruit et de poussière, etc. Ces règlements empiétaient parfois sur d'autres règlements qui visaient spécifiquement l'industrie des agrégats.

Des mesures législatives ont établi des normes plus rigides quant aux inventaires de planification, aux méthodes d'exploitation et à la planification de la post-utilisation. Les moyens pour fixer ces normes comprenaient la nécessité d'obtenir un permis provincial, l'accroissement du contrôle et des inspections, l'instauration de sanctions, de garanties et de cautionnements ainsi que la création de systèmes de renvois parmi les divers ministères et organismes gouvernementaux compétents. On a entrepris des recherches pour appuyer ces initiatives, même si, dans de nombreux cas, cela ne s'est pas fait de façon assez rapide ou approfondie pour répondre aux demandes du public.

En Colombie-Britannique, on a découvert qu'en 1973, avec une production de 31 000 000 tonnes, le sable et le gravier étaient, sur le plan quantitatif, la ressource minière la plus importante de la province (ces agrégats étaient même exportés vers l'Alberta et l'État de Washington). Le gouvernement a entrepris une étude inter-organismes (sous l'égide de la Division de l'économique et de la planification du ministère des Ressources minières et pétrolières) pour «1) analyser l'aspect industriel de l'utilisation des terres à long terme, 2) évaluer les redevances et les taxes appropriées; et 3) faire l'étude des réserves provinciales de sable et de gravier» (Silvertson et Carson, 1974)*.

Voici certaines conclusions pertinentes aux problèmes de la dégradation des terres:

1. La consommation de sable et de gravier par personne dans cette province passera probablement de 13,7 t en 1973 à environ 20 t en 1990. Par conséquent, la demande totale passera de 31 800 000 t en 1973 à 72 600 000 t en 1990. Dans les Basses-Terres de la Colombie-Britannique, la demande, qui était de 14 200 000 t en 1973, atteindra 20 000 000 t en 1990.
2. Les réserves de sable et de gravier dans les Basses-Terres sont abondantes mais fortement limitées par l'expansion urbaine, les facteurs environnementaux et les règlements de zonage municipaux et provinciaux. De plus, les réserves marginales deviennent sub-marginales en raison des redevances relativement élevées.
3. Les données sur les réserves de sable et de gravier dans la province et dans les Basses-Terres sont insuffisantes. On ne sait pas exactement où se situent les réserves, à qui appartiennent les terres ou de quelle façon elles sont ou seront utilisées.
4. Les règlements de protection environnementale sont loin d'être uniformes, même dans les Basses-Terres, et ils ne sont pas appliqués uniformément. Certaines municipalités imposent des restrictions sévères aux exploitants, tandis que d'autres appliquent mollement la loi. La loi provinciale ne s'applique qu'aux terres de la Couronne et là où il n'existe pas de règlements municipaux. Faute de personnel, cette loi n'a jamais été appliquée adéquatement. Le public peut donc être trop protégé sur le plan environnemental dans certaines localités, tandis qu'il ne l'est pas assez dans d'autres (Silvertson et Carson, 1974).

En Ontario, le gouvernement a commencé à s'intéresser activement à la question à la fin des années 1960 et a continuellement amélioré la qualité de la planification de l'industrie des agrégats. Reynolds (1980) a décrit cette situation en grand détail, et Yundt et Messerschmidt (1979) l'ont résumée ainsi*:

«Vers la fin des années 1960, le malaise entre l'industrie des agrégats et les résidants des municipalités à production élevée a menacé la disponibilité des ressources en agrégats. À la demande de l'industrie des agrégats, le gouvernement de l'Ontario a étudié la situation et, en 1971, a promulgué la Loi sur les gravières et les carrières. Cette loi avait pour but de réglementer l'exploitation des gravières et des carrières et d'assurer leur réaménagement.

Quatre ans plus tard, c'est-à-dire en 1975, les lacunes de cette loi ont mené à la formation du Groupe d'étude des effets de l'extraction des agrégats de l'Ontario pour examiner la situation et proposer des changements. Malgré les améliorations importantes apportées à la loi Ontarienne sur les gravières et les carrières (1971), certaines difficultés, comme la protection des ressources, subsistaient. Ce groupe de travail était un phénomène nouveau pour le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario parce qu'il était composé de représentants de tous les groupes intéressés par la question des agrégats minéraux – divers ministères gouvernementaux, des consultants régionaux et municipaux avec leur personnel et des groupes industriels et d'intérêt particulier. Deuxièmement, le groupe d'étude avait incorporé un programme de participation du public dans ses recommandations de politique.

La nouvelle mesure législative, appelée «The Aggregate Act» est passée en première lecture le 14 juin 1979 et devait être promulguée vers la fin de la même année. Elle doit remplacer l'actuelle loi sur les gravières et les carrières (Pits and Quarries Control Act). De plus, des lignes directrices sont en voie d'élaboration pour aider les municipalités à préparer leurs plans directeurs et leurs règlements de zonage dans le but de désigner et de protéger les ressources en agrégats minéraux dans l'avenir.

Le réaménagement des gravières et des carrières continue d'être hautement prioritaire, comme le montrent les recherches entreprises et subventionnées par la province. Des efforts sont également déployés pour faire l'inventaire des ressources et sensibiliser le public en vue de promouvoir l'acceptation de l'industrie des agrégats. La gestion des ressources en agrégats en Ontario a progressé de façon importante au cours de la dernière décennie, mais cet effort soutenu de gestion et de contrôle doit se poursuivre» (Yundt et Messerschmidt, 1979).

Il importe de souligner qu'en janvier 1983, la loi imminente n'avait pas encore été approuvée.

La loi précédente avait l'avantage d'imposer des normes et des méthodes d'extraction et de réaménagement que les producteurs trouveraient acceptables: p. ex., un cautionnement de 2¢/tonne (2,2¢/tonne métrique) jusqu'à 100 000 tonnes (90 718 tonnes métriques) ou 500 $/acre (1 235,53 $/ha), en prenant le montant le plus élevé des deux. Le réaménagement paysager, la construction de banquettes et la plantation de rideaux d'arbres étaient encouragés. L'aspect sans doute le plus important de la loi était qu'elle exigeait pour la première fois que les exploitants produisent et mettent en application un plan d'aménagement qui montre les conditions actuelles et les utilisations foncières environnantes, la façon dont l'exploitation se ferait et l'influence qu'elle aurait sur l'emplacement et les terres adjacentes et comment le terrain serait réaménagé en vue d'une utilisation future. Sans un énoncé acceptable sur ces questions, le Ministre peut refuser d'accorder un permis d'extraction, même si les règlements de zonage et toutes les autres exigences de planification sont respectés.

Ce processus est exigeant et complexe. Les exploitants doivent maintenant dresser des inventaires de planification, répondre à des questions sociales et environnementales, concevoir globalement les exploitations de façon à les

Photo 15. Des progrès impressionnants ont été accomplis en quelques endroits même avant l'adoption de lois en matière de réaménagement. À cet égard, la carrière Nelson est un modèle de réaménagement progressif en Ontario. Les morts-terrains et le sol superficiel enlevés en un endroit sont immédiatement utilisés dans une autre partie de la zone en voie de réaménagement.
A.G. McLellan

rendre aussi inoffensives que possible et s'assurer qu'une partie utile des biens immobiliers demeurent en place à la fin des opérations. La plupart des exploitants importants sont obligés d'engager une équipe d'experts pour rassembler et utiliser les informations appropriées avant d'entreprendre une nouvelle exploitation. (Voir le tableau 3).

Dès le début de 1978, toutes les importantes régions productrices d'agrégats dans la province étaient visées par la législation. Le nombre total de gravières et de carrières avec permis dans les municipalités désignées et visées par la législation était évalué à 1 590. La majeure partie de ces exploitations étaient en activité avant la promulgation de la loi de 1971 ou avant la désignation des zones. Ces exploitations ont été autorisées, car la loi ne voulait pas empêcher les exploitants en place de poursuivre leur travail. Depuis la promulgation de la loi, 40 demandes de permis d'exploitation sur de nouvelles concessions ont été soumises au Conseil des municipalités de l'Ontario (tableau 5).

TABLEAU 5.

État des dossiers soumis au Conseil des municipalités de l'Ontario

Décision de délivrer un permis	15
Décision de refuser l'octroi d'un permis	10
Affaire en suspens	7
Retrait de la demande après présentation au Conseil	8
Nombre total des dossiers étudiés	40

Un des obstacles à la délivrance des permis est la durée requise pour obtenir les approbations nécessaires. En effet, il faut de 2 à 5 ans et des sommes considérables pour porter une demande devant le Conseil des municipalités de l'Ontario.

Autres lois se rapportant aux gravières et carrières en Ontario

La loi sur les gravières et les carrières (Pits and Quarries Control Act) n'est pas la seule qui touche l'extraction des agrégats minéraux en Ontario. Des questions comme la sécurité, la pollution, la coupe des arbres, l'enlèvement de la couche arable et l'extraction sur les terres de la Couronne sont régies par diverses lois et relèvent de différents niveaux de gouvernement. Certaines de ces lois recoupent la loi de 1971 ou sont en conflit avec elle.

La loi sur l'aménagement du territoire (Planning Act) régit le système de planification locale en Ontario et permet aux municipalités de contrôler la façon dont les terres sont utilisées et dont l'aménagement se fait. Au cours des années, la province a délaissé son rôle de supervision pour assurer la protection des intérêts provinciaux. Cette loi, par l'intermédiaire des règlements de zonage et des plans directeurs, a été utilisée par les conseils municipaux pour empêcher les activités d'extraction. Les conseils municipaux peuvent également édicter des règlements dans le cadre du Municipal Act pour régir certains aspects, comme les zones-tampon, le dynamitage et les écrans d'arbres. Un grand nombre de ces questions se retrouvent également dans le Pits and Quarries Control Act.

L'extraction des agrégats sur les terres de la Couronne n'est pas régie par le Pits and Quarries Control Act mais par la loi sur les mines (Mining Act). Une des plaintes les plus courantes dans l'industrie des agrégats porte sur le transport et son impact sur les gens du voisinage. Un des problèmes spécifiques concerne le déversement d'agrégats par les camions chargés. Depuis janvier 1977, le code de la route exige que les camions à benne basculante transportant des agrégats minéraux au diamètre inférieur à 4 cm soient recouverts d'une bâche.

Il existe également d'autres lois qui contiennent des dispositions se rapportant à l'exploitation des gravières et des carrières, comme la loi sur les arbres (Trees Act), la loi sur la protection de l'environnement (Environmental Protection Act), la loi sur l'enlèvement du sable (Beach Protection Act), la loi de 1977 sur l'enlèvement du sol arable (Topsoil Preservation Act), etc.

Même si la promulgation de la nouvelle loi a été retardée, le gouvernement de l'Ontario a le pouvoir de changer les anciens règlements quand il le juge bon. En janvier 1981, on annonçait que, puisque le cautionnement de 2,2¢/t semblait inefficace pour assurer le réaménagement progressif des terres (de nombreux exploitants percevaient ce montant comme un genre de sanction ou comme une taxe sur l'extraction), il passerait immédiatement à 8¢/t. La nouvelle loi, qui remplacera ce qui est déjà le document le plus élaboré de la législation canadienne quant au contrôle de l'industrie des agrégats, exige des plans d'aménagement nouveaux et améliorés pour toutes les exploitations d'agrégats existantes. L'expérience acquise au cours de la dernière décennie a aidé la province à identifier les faiblesses, à élaborer de nouvelles méthodes et à continuer d'adapter la législation aux besoins du public et de l'industrie.

De façon générale, la nouvelle loi sur les agrégats (Aggregates Act) permettra de résoudre la plupart des difficultés de définition, d'administration et de mise en application contenues dans la loi précédente. Une importance particulière est accordée à un meilleur réaménagement, à des liaisons municipales plus nombreuses, à la rémunération municipale et au pouvoir de suspendre les permis. Les gravières et les carrières sur les terres de la Couronne dans des zones désignées seront incluses dans cette nouvelle loi.

L'un des changements les plus souhaités dans la nouvelle loi concerne la rémunération des municipalités. Au cours des années, les municipalités locales ont soutenu qu'elles devaient être remboursées pour les coûts résultant de l'exploitation des agrégats. Le groupe d'étude a révisé le problème et a recommandé que des indemnités soient versées aux municipalités. Le coût annuel pour un permis, dans le cadre de la nouvelle

Loi, sera de 6¢/t, dont 4¢ seront affectés à la municipalité locale, 0,5¢ à la région ou au canton, 0,5¢ à un programme conçu pour éliminer les problèmes causés par les gravières et les carrières abandonnées et 1¢ à la province (McLellan *et al.*, 1979).

La récession économique actuelle a permis de réévaluer les besoins et la nature des futures mesures réglementaires. Il est peu probable que l'on assiste à une expansion rapide de l'exploitation des agrégats ou de la dégradation des sols dans l'ensemble du Canada dans un proche avenir, comme cela a été le cas en Ontario entre 1950 et 1975 (voir carte 5, Canton d'Uxbridge). Toutefois, dans l'Ouest, les problèmes peuvent prendre de l'ampleur si l'expansion et la croissance se poursuivent. L'Alberta est probablement un des meilleurs exemples du phénomène. Dans cette province, en dépit de l'annulation récente (1982) des mégaprojets comme celui de Syncrude, les revenus dérivés du pétrole ⊛ du gaz naturel continuent de fournir des capitaux pour stimuler le développement.

Chevauchement de la législation en Alberta

Dans toutes les provinces, de nombreuses sections de la loi portent sur l'industrie des agrégats mais se chevauchent. Ce phénomène n'a jamais été mieux étudié que dans une publication albertaine récente (G.R. Shelley and Associates, 1977). Le lecteur trouvera ci-dessous diverses lois avec leur principale caractéristique entre parenthèses.

Sand and Gravel Act (le propriétaire conserve le droit de mise en valeur et d'exploitation à profit)

Department of the Environment Act (lutte contre la pollution; protection environnementale; planification des ressources en eau; prévention de la détérioration de la qualité environnementale par suite des mises en valeur ou utilisations foncières incompatibles; conservation de l'environnement dans son état naturel ou dans un état pouvant convenir aux loisirs ou à la propagation de la vie végétale ou animale. Des zones de mises en valeur restreintes peuvent être créées pour empêcher que les ressources en gravier dans une zone donnée ne soient perdues pour l'exploitation future par suite d'une utilisation incompatible des terres)

Land Surface Conservation and Reclamation Act (perturbation et régénération des surfaces)

Clean Air Act (usine d'asphalte, pollution de l'air et poussière)

Clean Water Act (assèchement des puits d'extraction et opération de nettoyage; le déversement dans des cours d'eau où le drainage de ces derniers exigent un permis)

Water Resources Act (dérivation des eaux, modifications des rivages ou des côtes)

Ground Water Control Act (forage de puits)

Public Lands Act (procédure pour l'octroi de permis d'exploitation de gravières sur les terres de la Couronne)

Agricultural Service Board Act (traitement herbicide, lutte pour la conservation du sol et de l'eau)

Weed Control Act (inspection et amendes pour obliger à l'emploi d'herbicides)

Soil Conservation Act (prévention de la détérioration du sol par le vent, l'eau ou toute autre force d'érosion, limitation de l'enlèvement de la couche arable)

Alberta Heritage Act (conservation des sites historiques)

Department of Transportation Act (routes destinées au transport du gravier)

Municipal Government Act (acquisition de terres pour des gravières municipales, effets néfastes des gravières, gravières abandonnées)

Planning Act (règlement sur l'excavation du sol ou le remplissage ou l'enlèvement de la couche arable)

Local Authorities Board Act (règlements locaux régissant l'exploitation d'un puits si ce dernier devait se trouver dans de nouvelles limites municipales)

Loi sur les pêcheries (*Fisheries Act*) (Canada) (empêcher le rejet de substances délétères dans les eaux poissonneuses)

Ce dédale de juridictions qui se chevauchent en Alberta existe également dans les autres provinces. Bien que la situation soit compréhensible et probablement nécessaire, il serait prudent qu'un seul ministère, par exemple un ministère des Richesses naturelles comme celui de l'Ontario, prenne en main l'exploitation des gravières et des carrières. En l'absence d'une seule autorité ministérielle principale, le processus d'approbation devient une mosaïque complexe d'opinions favorables et défavorables qui reflètent les mandats particuliers de chaque ministère ou organisme. Si leurs commentaires se limitaient à la formulation d'améliorations dans le cadre de leurs préoccupations particulières, il y aurait moins de risques de conflits et d'incompréhension entre les ministères (McLellan, 1983).

Dans de nombreuses parties du Canada, il semblerait que nous ayons formé un écran de fumée législatif en réponse à la demande de contraintes environnementales plus fortes en matière de mise en valeur. Les utilisations foncières peu attrayantes - comme les gravières et les carrières - qui sont mal vues du public, ont bénéficié assez largement de cette situation. Ainsi, en Alberta, il n'y a que peu d'améliorations visibles dans le style d'exploitation en dépit des lois qui se chevauchent et des contraintes imposées aux niveaux provincial et municipaux. À Carseland, à 60 km à l'est de Calgary, et à Cochrane, à

Photo 16. L'exploitation des gravières et des carrières soulève souvent l'opposition du public à cause des ravages très apparents qu'elle cause. Les lois provinciales ne semblent pas avoir amélioré la situation, comme le montre cette photographie prise près de Calgary.
A.G. McLellan

30 km à l'ouest de la même ville, des dépôts importants de gravier sont exploités d'une manière qui témoigne du peu d'intérêt accordé à ces problèmes. Les chemins d'extraction aménagés au hasard, les nombreuses parois exposées, actives, inactives ou abandonnées, les vastes zones décapées et l'absence totale de protection périphérique (photo 16) ou un réaménagement progressif semblent être caractéristiques. Au Québec, une conclusion semblable a été tirée par Boivin (1982) : «La législation actuelle au Québec portant sur l'extraction minière et la régénération est inadéquate pour assurer un niveau de sécurité publique et de protection environnementale qui constitue une préoccupation de premier ordre en matière de régénération.»*

Il apparaît clairement que, pour assurer la mise en application de la loi, les budgets doivent être suffisants pour établir un système d'inspection efficace qui comporterait le pouvoir d'imposer des sanctions sévères.

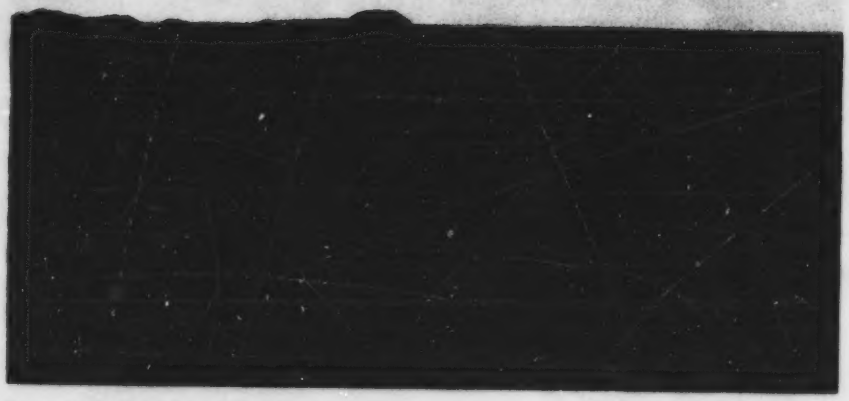


Photo 17. Ainsi qu'en témoigne cette photographie prise à Carseland, en Alberta, près de Calgary, de grandes étendues dévastées sont souvent inutilisables pendant de très longues périodes.
A.G. McLellan

La législation à l'échelon local

Les décrets locaux - essentiellement des règlements restreints et des contraintes de zonage - constituent le meilleur moyen pour empêcher les utilisations foncières incompatibles; la plupart de ces décrets sont conçus pour restreindre les emplacements de mise en valeur future de gravières et de carrières. Certains cantons ont des zones d'agrégats, mais elles sont généralement occupées par d'autres exploitations; les nouvelles implantations nécessiteront normalement un rezonage et des modifications des plans directeurs.

Beaucoup de municipalités urbaines et rurales exigent également une entente spécifique de mise en valeur qui oblige les exploitants à suivre diverses procédures et qui permet de ne pas douter qu'il y aura des contrôles provinciaux. À Calgary, par exemple, les étapes sont les suivantes:

1) Le futur exploitant remplit une demande comprenant les «renseignements techniques» préparés par des consultants;
2) Le candidat demande un permis de mise en valeur (lorsque l'emplacement se situe sur les terres réservées au développement urbain de Calgary, l'extraction du gravier est permis);
3) La demande est ensuite étudiée à fond par les services d'ingénierie et de planification de la ville et, s'ils sont satisfaits, ils demandent la signature d'une entente d'extraction du gravier qui comprend la lutte contre le bruit et la poussière, les heures d'exploitation, l'étalement annuel et les rapports sur les travaux en cours, l'élévation des puits, le réaménagement, etc.;
4) lorsque le titre est enregistré et qu'une garantie de bonne exécution est déposée, l'exploitation peut commencer.

Les principaux conflits à Calgary viennent de l'inquiétude croissante des résidants en raison du bruit, de la poussière et des heures d'exploitation (des lotissements sont en voie d'aménagement près des emplacements d'extraction) et des différends entre la ville et les producteurs d'agrégats en ce qui concerne la quantité d'agrégats à extraire et la durée d'exploitation approuvée par le permis. La ville aimerait réduire ces deux éléments et procéder à une révision tous les trois ou cinq ans (E.J. Grant, coordonnateur de la mise au point technique, Division de l'urbanisme, Calgary, document personnel).

En règle générale, lorsque des décrets locaux ou provinciaux font double emploi, c'est le plus restrictif qui prime. À Calgary, la croissance urbaine récente et rapide a signifié que les emplacements d'extraction en zone périurbaine nécessitent un peu plus que la classification, le nivellement et l'épandage d'une couche arable avant que les terres ne soient aménagées tandis que les sites les plus éloignés témoignent très peu des effets des décrets provincial ou municipaux (photo 17).

Le dilemme provincial: les conflits fréquents entre les divers règlements

Les gouvernements provinciaux doivent se montrer prudents et éviter de révéler des dissidences internes. Un examen minutieux par plus d'une demi-douzaine de ministères et organismes provinciaux, et leurs commentaires, pourraient entraîner des chevauchements et des décisions ou des exigences contradictoires.

Les gouvernements provinciaux ont la responsabilité de servir au mieux les intérêts de tous les habitants de la province. Cela signifie : assurer que les agrégats sont fournis au consommateur à un coût raisonnable; la désignation et la protection des ressources minérales de valeur par l'intermédiaire d'un processus de planification locale, régionale ou à l'échelle d'un canton; et la prise en compte des disparités des disponibilités de ressources. Ces responsabilités provinciales peuvent occasionnellement provoquer des conflits avec les autorités locales, si celles-ci ne sont pas d'accord avec les objectifs provinciaux. La plupart des provinces insistent pour que la responsabilité finale relève d'un ministère. Toutefois, il peut quand même y avoir des problèmes, comme en Ontario, où le ministère des Richesses naturelles se trouve à recouvrir diverses fonctions et a des responsabilités qui sont occasionnellement contradictoires - p. ex. d'une part, la conservation des parcs et des zones naturelles et, d'autre part, l'exploitation des ressources.

Un autre dilemme important pour les gouvernements provinciaux est la propension de leurs ministères indépendants à établir des lignes directrices. Même si le zèle et l'honnêteté de ces ministères ne sont pas mis en doute, une multitude de lignes directrices peuvent gêner considérablement le gouvernement, entraîner la diffusion de fausses informations et provoquer le mécontentement des candidats qui demandent l'approbation de permis. Il semble qu'avec leurs mandats individuels et distincts en tête, les ministères étudient un problème connu et recommandent des solutions appropriées. Mal-

heureusement, cela est souvent fait indépendamment des autres ministères sans prise en compte des implications sociales et environnementales et, souvent, des autres décisions de politique du gouvernement. Un bon exemple de ce genre de situation est celui des gravières et des carrières pour le ministère de l'Environnement de l'Ontario.

Ce ministère, dans le cadre de son mandat, s'occupe de la pollution de surface, des eaux souterraines, de l'air (émissions de poussière et de particules) et du bruit. Il apparaît évident, compte tenu de tous ces aspects, que le ministère devrait être préoccupé par les problèmes que posent les gravières et les carrières. L'intervention du ministère de l'Environnement de l'Ontario se fait à deux niveaux différents: d'une part, sous forme de commentaires sur les plans directeurs (et les modifications) et, d'autre part, sur l'octroi des permis d'exploitation des gravières et des carrières selon la loi sur les gravières et les carrières (Pits and Quarries Control Act). Sur une période de plusieurs années, le Ministère, grâce aux rapports des consultants, a découvert que des interférences (d'après les plaintes des résidants au sujet du dynamitage, de l'exploitation elle-même, du bruit et de la poussière) se produisaient jusqu'à 2 000 m du site d'exploitation. Les mêmes rapports indiquent qu'un éloignement de 450 m (par rapport aux 50 ou 100 m exigés dans la loi actuelle) réduirait les plaintes d'environ 32 %. Une autre étude a permis de tirer les conclusions suivantes:

1) Dans certaines conditions météorologiques, les souffles des explosions peuvent secouer un logement plus que des secousses telluriques à des distances supérieures à 300 m;

Photo 18. Beaucoup de personnes qui habitent près des gravières et des carrières se plaignent de leurs effets secondaires, tel le déplacement des camions, qui détériorent leur qualité de vie par le bruit, la poussière et les dangers d'accidents qu'ils engendrent. L'utilisation de bâches sur les camions, le revêtement des voies d'accès, l'aménagement de voies d'accélération et la surveillance des chemins de halage peuvent régler une partie des problèmes. Des bâches protègent le chargement de ces camions, qui circulent sur la Transcanadienne à l'est de Calgary.
A.G. McLellan

2) Ces vibrations sont plus désagréables pour les occupants que ne l'est le bruit des avions à réaction;
3) Les gens qui vivent à moins de 305 m sont «très dérangés» par les souffles des explosions tandis que ceux qui vivent à des distances variant entre 305 et 610 m sont «seulement ennuyés».

En associant le dynamitage aux conditions météorologiques (par exemple, en ne procédant pas au dynamitage lorsque la couverture nuageuse est basse), en réduisant le poids des explosifs par délai, en changeant le type de bourrage et la longueur du cordon Bickford exposé, il est possible d'améliorer la situation (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1981).

Il est arrivé que le ministère de l'Environnement de l'Ontario se retrouve en conflit avec le ministère des Richesses naturelles, qui octroie les permis d'exploitation des gravières et des carrières, comme dans le cas de la municipalité régionale d'Ottawa-Carleton (MROC).

«Le personnel du district du ministère des Richesses naturelles a eu parfois à subir des retards de ce genre. Tout en discutant d'un plan de lotissement, le MRN a dit à l'autre ministère que, puisque l'exploitant était d'accord pour assurer une zone tampon de 1 500 pi [457 m], il estimait ce recul suffisant et ne s'opposait pas au lotissement proposé. De même, dans un autre cas, il a donné son appui au MROC à l'occasion d'une recommandation du ministère de l'Environnement, qui visait à prévenir les acheteurs éventuels de propriété des inconvénients que risquaient de causer le bruit, la poussière ou les vibrations liées à l'exploitation des carrières. Par contre, le personnel du MNR estime que ces distances sont trop restrictives en ce qui a trait aux carrières à proximité des terres résidentielles existantes» (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1981).*

Par suite des diverses expériences du ministère de l'Environnement*:

«Il est par conséquent recommandé que les mesures suivantes soient appliquées lors des discussions relatives à de nouveaux ensembles résidentiels à proximité des gravières et des carrières de même que pour les nouvelles gravières et carrières à proximité des terres résidentielles.

i On ne devrait pas autoriser la construction de nouveaux ensembles résidentiels à moins de 450 m de la limite fixée officiellement pour l'extraction de ressources minérales, à moins qu'un programme d'exploitation, agréé par le ministère de l'Environnement, fasse partie d'une entente avec la municipalité.

ii De même, l'ouverture ou l'expansion d'une carrière ne devrait pas être autorisée à moins de 450 mètres de zones résidentielles, sauf si une entente a été conclue avec la municipalité.

iii Dans le cas des nouveaux ensembles résidentiels distants de 451 à 750 mètres d'une carrière en exploitation, l'entente de lotissement avec la municipalité devrait comprendre une clause d'avertissement à l'effet que l'exploitation actuelle ou future d'une carrière peut entraîner certains désagréments sous forme de bruit, poussière ou vibration, même si les structures ne risquent pas d'être endommagées. Cet avertissement devrait apparaître dans toutes les ententes d'achat ou de vente (de même que pour les ententes de location) et devrait être inscrit sur le titre de propriété. De plus, l'avertissement ne devrait pas être enlevé sans le consentement préalable du ministère de l'Environnement; et

iv Pour les nouveaux ensembles résidentiels distants de 751 à 1 500 mètres d'une carrière en exploitation, l'entente de lotissement avec la municipalité devrait comprendre une clause d'avertissement en bonne et due forme à l'effet que l'exploitation des carrières peut parfois être audible. Cet avis devrait apparaître dans tous les contrats de vente et d'achat (et de location) et devrait être inscrit sur le titre de propriété. De plus, l'avis ne devrait pas être enlevé sans le consentement préalable du ministère de l'Environnement.

v Une distance de 120 mètres devrait être maintenue entre les gravières et les terres à usage résidentiel à moins qu'une entente acceptable, comme celle qui apparaît en (i) ait été prise» (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1981).

Ce processus de gestion et de planification complexe continuera de poser des problèmes. Il semble donc évident:

1) qu'il devrait y avoir un contrôle partagé des procédures de planification et d'approbation aux niveaux provincial et municipaux;
2) les permis et autorisations ne devraient être accordés qu'à l'échelon supérieur du gouvernement et ce pouvoir devrait n'être conféré qu'à un seul ministère, même si la mise en application peut être faite aux deux niveaux;
3) les administrations locales, de canton ou régionales ne peuvent continuer à s'opposer à la mise en valeur en usant de leurs

pouvoirs de planification et elles doivent faire preuve de discernement, dans leurs plans directeurs, en ce qui concerne les disparités régionales de disponibilité des ressources.

Autres difficultés législatives à divers échelons du gouvernement

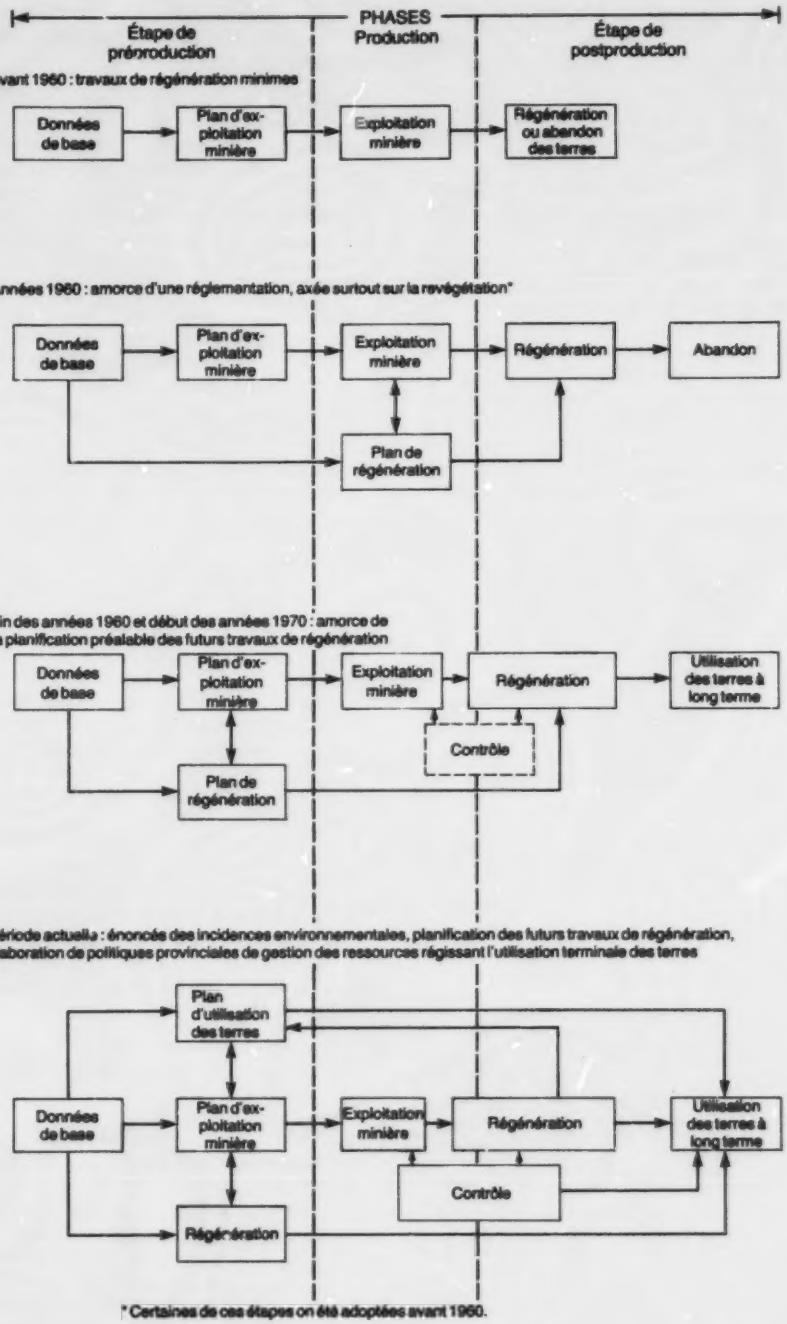
Marshall (1983*b*) a tenté de résumer par une illustration l'évolution du raffinement des exigences de réglementation (voir la figure 6). Cette illustration montre les ajouts graduels des liens d'information/réaction entre 1) l'inventaire précédant la planification, l'exploitation et la planification du réaménagement du site; 2) le contrôle gouvernemental et l'extraction des agrégats; et 3) l'extraction des agrégats et les divers facteurs que comprend la planification de l'utilisation des terres.

Même si cette séquence s'applique généralement aux expériences canadiennes, cette rationalisation est difficile à trouver sous d'autres aspects. Premièrement, chaque province a suivi son propre cheminement pour tenter de résoudre les problèmes environnementaux et les problèmes de dégradation entraînés par l'exploitation des gravières et des carrières. Malheureusement, cela signifie que les politiques ou les règlements législatifs qui conviennent à une province n'existent pas nécessairement dans une autre ou ne lui sont pas applicables. De plus, il existe encore des conflits entre les divers paliers de gouvernement dans chaque province.

On a déjà souligné que de nombreux résidents locaux estiment que le pouvoir local en matière de planification ne devrait pas être sapé. Ils estiment que le dossier du contrôle provincial n'est pas impressionnant et qu'ils ont résisté à l'imposition du pouvoir par les gouvernements régionaux ou provinciaux ou par toute division ou tout organisme ministériel. Il apparaît évident que les propositions peu intéressantes de mise en valeur devront suivre un processus de planification beaucoup plus long : en commençant à l'échelon local – souvent même avec le résidant – la demande passe ensuite au niveau du canton, de la municipalité et du gouvernement régional pour finalement atteindre les divers organismes provinciaux. Il s'agit là d'un processus coûteux et désagréable. Les divers paliers de gouvernement ont des priorités différentes qui peuvent entraîner des décisions différentes quant à ce qui est ou n'est pas acceptable. Au cours des deux dernières années, des candidats au permis d'exploitation de gravières ont reçu de divers paliers du gouvernement des conseils contradictoires sur a) les zones boisées, b) les cours d'eau, c) l'emplacement des installations, d) les entrées et les sorties, e) la portée des zones importantes sur le plan environnemental, etc. On pourrait presque croire qu'on s'attend à ce que l'exploitant tente de ne pas

FIGURE 6.

Schéma de l'évolution en matière de régénération des terres soumises à l'exploitation minière



Source : Marshall, 1983*b*.

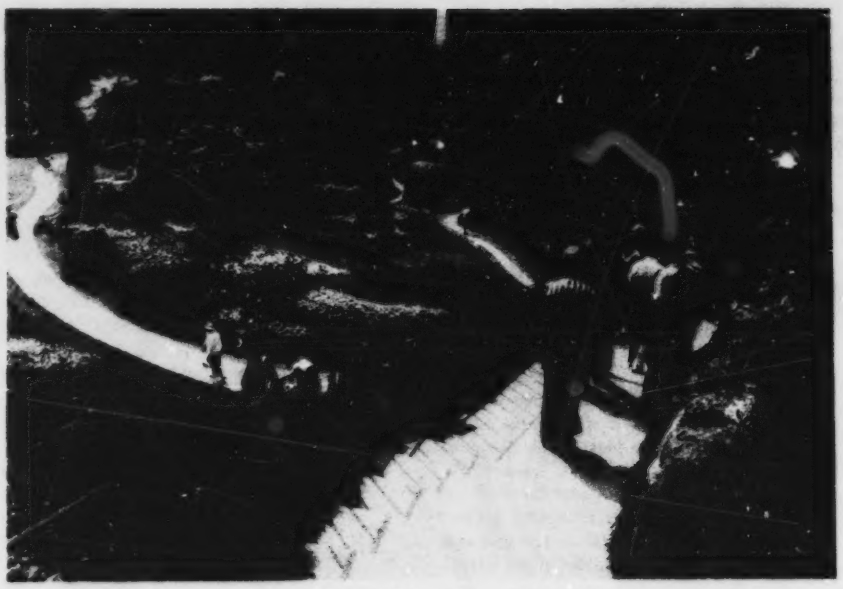


Photo 19. Les jardins Butchart de Victoria, en Colombie-Britannique, étaient autrefois une carrière calcaire. Une fois les réserves épuisées, elle a continué à déparer le paysage. En grande partie grâce à M^me^ Butchart, les lieux ont été transformés en magnifiques jardins, qui sont ouverts au public depuis 70 ans. Les jardins Butchart, qui accueillent plus d'un demi-million de visiteurs par année, sont un exemple frappant des transformations qu'on peut faire subir à une zone d'extraction d'agrégats.
Office du tourisme du Canada

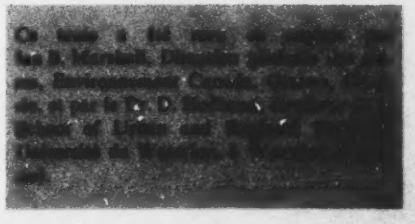
faire le travail correctement et l'on met autant d'obstacles que possible sur son chemin. Que cela soit vrai ou non, rien ne justifie le chevauchement ou les contradictions entre les systèmes de réglementation et d'approbation.

CONCLUSIONS

L'expérience canadienne avec les gravières et les carrières n'a pas été facile. Presque toutes les terres ont été exploitées d'une façon telle qu'il est difficile de les remettre en leur état original. Étant donné que les gravières et les carrières occupent de grandes surfaces, le problème est grave. Des pertes inutiles de terrains ou de capacité de production sont la conséquence d'activités d'extraction qui ne sont plus nécessaires ou acceptables! L'impact nuisible des gravières et des carrières rend l'extraction des agrégats incompatible avec des utilisations pacifiques des terres, comme avec la création de zones récréatives et résidentielles. Les planificateurs doivent donc faire des efforts considérables pour réduire ces problèmes en isolant ces exploitations.

Même s'il s'est avéré difficile de présenter une évaluation comparative précise de l'impact des gravières et des carrières, au Canada et au cours des années, on note cependant plusieurs points saillants.

- Il apparaît clairement qu'une augmentation considérable des terres perturbées par l'industrie de l'extraction des agrégats s'est produite pendant le boom des années 1960 et début 1970. Une expansion similaire pourrait se produire à la fin de la présente récession. Cette expansion nuira aux provinces qui subissent les plus fortes pressions de mise en valeur et dans des zones où la croissance et la reconstruction sont concentrées, comme les zones de ressources et les grandes villes. Les zones qui sont éloignées de 10 à 60 km des villes et qui sont souvent d'importants secteurs d'exploitation agricole seront les plus fortement touchées.
- La première expansion s'est produite pendant une période où les producteurs d'agrégats ne connaissaient à peu près pas les techniques conçues pour minimiser l'impact néfaste de l'extraction en surface. Les conséquences de ce manque de connaissances se combinaient au problème de l'abandon antérieur et aux conflits manifestes créés par les exploitations antérieures de gravières et de carrières. Ces conflits ont entraîné une plus grande demande de mise en application de la loi par le gouvernement et une prise de conscience des questions environnementales; par conséquent, la période s'est caractérisée par l'hostilité, les conflits et les réactions négatives.
- L'atmosphère hostile et les difficultés qu'ont rencontrées les producteurs d'agrégats ont amené le gouvernement provincial à prendre des mesures. Les recherches ont été menées et des règlements ont été adoptés pour améliorer la qualité de l'exploitation des agrégats. Presque toute cette recherche a vu le jour en Ontario, et l'expérience acquise profitera aux autres provinces.
- Les techniques de réaménagement se sont améliorées à tel point que des pertes importantes de terres agricoles à cause des opérations d'extraction (même lorsqu'elles n'étaient que temporaires) ne devraient plus se produire ni être tolérées. Néanmoins, il apparaît clairement que les gouvernements peuvent encore améliorer la collecte des données, le contrôle des opérations et l'efficacité des techniques de réaménagement dans l'avenir.
- Dans les endroits où il y avait des conflits, un nouvel esprit de compromis voit le jour. Les réserves d'agrégats sont maintenant perçues comme vitales pour l'avenir; des plans sont donc exécutés pour identifier ces réserves et des mesures sont prises pour en faire un usage approprié.
- Les méthodes judicieuses appliquées par les producteurs d'agrégats à leurs exploitations et la remise en état des terres, souvent dans des conditions esthétiquement agréables, ont encouragé les gouvernements à voir en l'industrie des agrégats un atout pour l'économie canadienne et peuvent amener lentement le public à revoir ses positions.
- Les responsables de la planification peuvent souhaiter jouer un rôle plus actif dans le développement de l'extraction des agrégats de façon que cette activité convienne mieux aux besoins actuels et futurs des collectivités. Des compromis raisonnables laissent entrevoir un avenir prometteur pour l'industrie des agrégats tout en conservant, voire améliorant, les paysages de demain.
- Sans des mesures énergiques et des améliorations de tous les aspects susmentionnés, et même avec elles, l'impact des gravières et des carrières continuera de gêner de nombreux Canadiens, qui estiment que cette industrie nécessaire constitue une forte intrusion dans leur collectivité ou leur mode de vie.



REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier spécialement Cathy Duquette pour la collecte initiale de données et les recherches bibliographiques; il tient également à remercier Ian Marshall et Doug Hoffman pour leur révision approfondie du document.

ANNEXE I

La Soil Conservation Society of America a proposé les objectifs suivants:

1) Encourager la recherche et le développement dans le domaine de la technique de régénération des terres.

   Chaque emplacement à régénérer a des problèmes qui lui sont particuliers. De nouvelles techniques doivent être élaborées et des méthodes connues doivent être appliquées pour résoudre ces problèmes. Les terres dynamitées doivent être restaurées de façon à conserver les ressources naturelles et les valeurs qu'elles avaient auparavant, voire même accroître ces valeurs, si cela est réalisable. Cela signifie l'élaboration de meilleures méthodes de reconstruction de profil de sol en utilisant les espèces végétales qui conviennent au site, de meilleures méthodes pour réinstaurer la végétation dans les zones perturbées, l'amélioration de la conservation de l'eau et la mise au point d'équipements spéciaux, si nécessaire. Des travaux en laboratoire devront être effectués en vue d'arriver à des méthodes améliorées et plus fiables qui permettront de caractériser la nature des sols sur une base commerciale afin d'assurer l'application de meilleures pratiques de régénération.

2) Encourager une meilleure planification avant l'extraction.

   Il est indispensable de savoir avec précision dans quel état était le site avant les travaux d'excavation, si l'on veut pouvoir le restaurer par la suite, ou accroître son potentiel. Les projets préalables à l'extraction devraient inclure des inventaires complets du sol, de l'eau, du mort-terrain, des groupements végétaux, de la faune ainsi que d'autres ressources naturelles. Les plantes utilisées pour stabiliser la zone devraient être adaptées au site et appropriées à l'utilisation planifiée du site. Il sera toujours nécessaire de développer ou d'évaluer des espèces améliorées pour des sites ou des utilisations de terres particulières.

3) Encourager les techniques de régénération qui assurent le meilleur choix d'utilisations possibles des terres.

   Le choix le plus vaste possible d'utilisations ultérieures des terres: c'est ce qu'une technique appropriée de régénération devrait assurer, en tenant compte de la composition physique et chimique du sol. Cela offrirait une plus grande souplesse aux futurs propriétaires de terrains. Par exemple, les terres qui conviennent à une culture intensive devraient être remises dans un état permettant ce genre de culture ou d'autres utilisations moins intensives, en réponse aux besoins des générations actuelles et futures. Cette méthode permettrait quand même de répondre aux besoins de la collectivité en matière de loisirs, d'habitation, de développement industriel ou d'autres besoins.

4) Encourager les organismes gouvernementaux à travailler de concert.

   L'extraction et la régénération devraient être effectuées d'une façon raisonnable, sélective et méthodique sans sacrifier la base des ressources alimentaires et fibreuses, la qualité de la vie dans les régions rurales ou la qualité de l'environnement. Cela ne peut pas être accompli si les organismes gouvernementaux, à tous les niveaux, ne travaillent pas ensemble pour mettre au point une technique et des programmes de régénération des exploitations à ciel ouvert.

5) Encourager une industrie minière stable et rentable.

   Quiconque a des intérêts économiques et des préoccupations pour les ressources naturelles devrait encourager l'édification d'une industrie extractive saine dont l'exploitation soit méthodique. Une industrie saine va de pair avec sa capacité accrue de procéder à des régénérations à long terme de qualité élevée.

6) Encourager la conservation et le recyclage des matériaux existants.

   Encourager l'utilisation maximale et la réutilisation des ressources minérales par le public et l'industrie permettra de réduire la quantité de terres devant être perturbées, quantité qui sera également réduite si la quantité maximale de minéraux est extraite lorsqu'un site est voué à l'exploitation.

7) Encourager les législateurs à conserver aux lois leur caractère actuel en ce qui a trait à la régénération des terres.

   Tous les législateurs, quel que soit l'échelon où ils se trouvent, doivent réviser constamment les lois sur la régénération des terres où l'exploitation se fait à ciel ouvert, afin que ces lois soient le reflet de la technologie de pointe. Lorsque la régénération doit être améliorée, la législation – l'impulsion importante à la régénération – doit être tenue à jour.

8) Encourager l'intérêt local pour la planification minière et les décisions relatives à l'utilisation des terres.

   Un accroissement de l'intérêt local pour les décisions concernant le choix des sites d'extraction et des industries connexes permettrait aux gens de se préoccuper de l'impact de l'extraction sur les terres agricoles importantes, les zones uniques et naturelles, les terres fragiles et les ressources en eau.

9) Encourager la prise de conscience du public du coût de l'extraction et de la régénération.

   La régénération fait partie des activités d'extraction et le coût associé à ces activités devrait être assumé par le consommateur (Soil Conservation Society of America, 1980).

BIBLIOGRAPHIE

Aggregates Issue Group. 1977. Nova Scotia Deputy Ministers' Committee on Land Use Policy. Ébauche de rapport. Department of Mines and Energy. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Aggregate Producers Association of Ontario. 1976. How to Make Things Grow in a Pit or Quarry. School of Horticulture. Niagara Parks Commission. Niagara Falls, Ontario.

Ahearn, Vincent P. 1964. Land Use Planning and the Sand and Gravel Producer. National Sand and Gravel Association. Silver Spring, Maryland.

Alberta. Environment, Energy and Natural Resources. 1977. Guidelines for the Reclamation of Land in Alberta. Water Quality Branch, Standards and Approvals Division. Edmonton, Alberta.

Alberta. Environment. 1980. Wastewater Management Guidelines for Alberta Sand and Gravel Washing Operations. Water Quality Branch, Standards and Approvals Division. Edmonton, Alberta.

_____. 1981. Sand and Gravel Washing Operations, Guidelines for Licensing Surface Water Diversions: The Water Resource Act. Surface Water Rights Branch. Water Resources Administration Division. Edmonton, Alberta.

Alberta. Gazette. 1974. Land Conservation Regulations. Alberta Regulation 125/74 with Amendments up to and including Alberta Regulation 113/77 to the Land Surface Conservation and Reclamation Act.

Alberta. The Land Surface Conservation and Reclamation Act. Chapter 34. 1973. Subsequent Amendments to 1980.

_____. 1979. Alberta Regulation 385/79 to the Land Surface Conservation and Reclamation Act.

Anonyme. 1974. Ontario Aggregate Conference. Problems and Potentials. Conference Summary. School of Landscape Architecture, University of Guelph. Guelph, Ontario.

Armstrong, D.S. 1968. «Land use and the Development of Mineral Resources in the Toronto Area.» Mining in an Urban Landscape. pp. 75–81. Édité par A.M. Bauer. Proceedings: Conference on Mining in an Urban Landscape, 19 et 20 novembre. School of Landscape Architecture, University of Guelph. Guelph, Ontario.

Barnett, D. 1977. Statutory Reclamation and Supply Aspects of Mineral Aggregate Production in Canada. Rapport préparé pour le Comité nº 1. Conférence technique des ministres des Mines. Direction des ressources minières. Ministère des Richesses naturelles. Frédéricton, Nouveau-Brunswick.

_____. 1981. «Aggregate Resource Management in New Brunswick.» Présenté à la 83e réunion générale annuelle de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie tenue du 3 au 6 mai. Ministère des Ressources naturelles. Frédéricton, Nouveau-Brunswick.

Baxter, John G. 1969. Site Planning for Sand and Gravel Operations. Department of Landscape Architecture, University of Illinois. Urbana, Illinois.

Bauer, Anthony. 1965. Simultaneous Excavation and Rehabilitation of Sand and Gravel Sites. National Sand and Gravel Association. Silver Spring, Maryland.

Bauer, A.M. 1968. «Reshaping the Land: the Site Development Process.» Mining in an Urban Landscape. pp. 21–32. Edité par A.M. Bauer. Proceedings of a Conference on Mining in an Urban Landscape. 19 et 20 novembre. School of Landscape Architecture, University of Guelph. Guelph, Ontario.

_____. 1970. A Guide to Site Development and Rehabilitation of Pits & Quarries. Industrial Mineral Report nº 33. (Réimprimé 1974.) Ministère des Mines de l'Ontario. Toronto, Ontario.

Beaver, S.H. 1969. «An Appraisal of the Problem.» Proceedings of the Derelict Land Symposium. p. 3. University of Leeds. United Kingdom.

Boivin, Daniel J. 1981. «Analyse de la législation actuelle au Québec en matière de restauration et de réaménagement de mines et carrières abandonnées.» Cahiers de géographie du Québec. vol. 25, nº 65, pp. 269–282. Les Presses de l'Université Laval. Québec, Québec.

_____. 1982. «Reclamation and Public Security at Mining Sites in the Southern Part of Quebec Province.» pp. 143–156. Reclamation–A Multi-faceted Activity. Travaux: Septième réunion annuelle de l'Association canadienne de récupération des terres, tenue du 29 août au 1er septembre 1982 à Sydney, Nouvelle-Écosse.

Bradshaw, A.D., et Chadwick, M.J. 1980. The Restoration of Land. University of California Press. Berkeley, Californie.

Bruce, R.L., et Lundberg, B.E. 1964. Evaluation of Exploration Methods for Coarse Aggregates in E.S. Dakota. Geology Survey. Report of Investigations, nº 95. State of Dakota.

Bryant, C.R., et McLellan, A.G. 1975. «Towards Effective Planning and Control of the Aggregate Industry in Ontario.» Plan Canada. vol. 15, nº 3, pp. 176–182. Institut d'Urbanisme du Canada. Ottawa, Ontario.

Bryant, C.R.; Russwurm, L.H.; et McLellan, A.G. 1982. The City's Countryside Land Use Management in the Urban Fringe. Longmans. London, England.

Canada. Gazette. Partie II. Volume 91. 1957. Loi sur les terres territoriales. Règlements concernant l'exploration des carrières des terres territoriales. Territoires du Nord-Ouest et Territoire du Yukon.

Canton d'Uxbridge. Annexe «A», Cartes clés 1 et 2. Uxbridge, Ontario.

Carter, Philip D. 1981. The Economics of Mineral Aggregate Production and Consumption in Newfoundland and Labrador. Department of Mines and Energy. St. John's, Terre-Neuve.

Centre for Resources Development, University of Guelph. 1972. Planning for Agriculture in Southern Ontario. ARDA Rapport nº 7. Préparé pour le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario et le Ministère de l'Expansion économique régionale du Canada. Guelph, Ontario.

City of Sault Ste. Marie. n.d. Supply and Demand of Mineral Aggregates for the City of Sault Ste. Marie. Sault Ste. Marie, Ontario.

City of Saint John. 1972. Inactive Gravel Pits and Quarries in Saint John. Planning Commission. Saint John, Nouveau-Brunswick.

Coates, W.E. 1970*a*. «Reclamation in Ontario Legislation and Practise.» Rock Products. Novembre. pp. 77–81. MacLean-Hunter Publishing Corporation. Chicago, Illinois.

_____. 1970*b*. Surface Mining Rehabilitation in Ontario: Legislation and Implementation. Communication présentée à la 6e réunion annuelle du Forum on Geology of Industrial Minerals. University of Michigan. Ann Arbor, Michigan.

_____. 1971*a* Action and Reaction — Control of Surface Mining in Ontario. American Institute of Mining Engineers. Council of Economics. New York, New York.

_____. 1971*b*. Environmental Economic Benefits of Comprehensive Planning for Extraction, Rehabilitation and After-Use on Industrial Mineral Sites. Conférence sur l'environnement tenue du 7 au 9 juin. American Institute of Mining Engineers. Washington, D.C.

_____. 1971*c*. Reclamation of Gravel Pits and Quarries. Communication présentée à la 47e réunion annuelle du North Atlantic Region of the American Society of Agricultural Engineers. University of Guelph. Guelph, Ontario.

_____. 1972. «Social Ecology of Surface Mining.» The CIM Bulletin – Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. vol. 65, nº 722, pp. 53–60. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie. Montréal, Québec.

_____. 1974. Operations and Rehabilitation Planning. Rehabilitation Seminar. Aggregate Producers Association of Ontario. Downsview, Ontario.

_____. 1975. «Can Surface Mining be Compatible with Urbanization?» The CIM Bulletin – Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. vol. 68, nº 763, pp. 41–47. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie. Montréal, Québec.

_____. 1976*a*. «How to Recover a Quarry.» Bulletin of the Conservation Council of Ontario. vol. 23, nº 3. The Conservation Council of Ontario. Toronto, Ontario.

_____. 1976*b*. «New Uses for Old Quarries.» Bulletin of the Conservation Council of Ontario. vol. 23, nº 2, pp. 12–20. Toronto, Ontario.

_____. 1976*c*. «Surface Mining and Urbanization.» O.A.L.A. Review. vol. 3, nº 3, pp. 8–14. Ontario Association of Landscape Architecture. Toronto, Ontario.

_____. 1978. Rehabilitation. Aggregate Producers Association of Ontario. Downsview, Ontario.

Coates, W.E., et Scott, O.R. 1979. A Study of Pit and Quarry Rehabilitation in Southern Ontario. Ontario Geological Survey. Miscellaneous Paper 83. Energie, Mines et Ressources Canada. Ottawa, Ontario.

Colombie-Britannique. 1980. «Public Concern.» Royal Commission of Inquiry, Health and Environmental Protection. Uranium Mining Commissions Report. vol. 1, pp. 9–13. Vancouver, Colombie-Britannique.

_____. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources. 1981. Guidelines for Reclamation of Quarry Operations. Victoria, Colombie-Britannique.

Colombie-Britannique. Mining Regulation Act. Chapter 265. 1979.

Commission canadienne des transports. 1979. L'industrie canadienne des agrégats minéraux: accent mis sur les transports. Direction de l'exploitation et des tarifs, Commission canadienne des transports. Ottawa, Ontario.

Dewitt, F.J. 1978. Environmental Planning and Rehabilitation at Milton Quarry. Travaux de la 3e réunion annuelle de l'Association canadienne de récupération des terres, tenue du 29 mai au 1er juin. Université Laurentienne. Sudbury, Ontario.

Edmonton Regional Planning Commission. 1975. Sand, Gravel and Clay Policy. Position Paper nº 2. Regional Planning and Research Division. Edmonton, Alberta.

Environnement Canada. 1971. Brief on the Environmental Impact and Regulation of Surface Mining in Alberta. Travaux des Audiences publiques. Environment Conservation Authority. Edmonton, Alberta.

_____. 1977. Statutory and Environmental Protection Aspects of Mineral Aggregates and Industrial Minerals Production in Eastern Canada: Inventory of Active and Abandoned and/or Intermittently Used Sand, Gravel, Rock Aggregate and Industrial Mineral Sites in Eastern Canada. Rapport non publié par W.B. Blakeman and Associates. Direction générale des terres. Ottawa, Ontario.

Fowler, John H. 1981. «Aggregate Resources in Nova Scotia.» Communication présentée à la 83e réunion générale annuelle de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie, tenue du 3 au 6 mai. Department of Mines and Energy. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Giergon, L. 1978. Pit and Quarry Rehabilitation as Practised by Standard Aggregates. Travaux de la 3e réunion annuelle de l'Association canadienne de la récupération des terres, tenue du 29 mai au 1er juin. Université Laurentienne. Sudbury, Ontario.

G.R. Shelley and Associates Ltd. 1977. Villeneuve Area Gravel Development and Reclamation Study. Rapport préparé pour Land Conservation and Reclamation Division. vol. 1: Study. vol. 2: Appendices. Alberta Environment. Edmonton, Alberta.

Guillet, G.R. 1975. «Industrial Minerals — Endangered Species?» The CIM Bulletin – Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. vol. 68, nº 763, pp. 52–56. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie. Montréal, Québec.

_____. 1978. «Urban Minerals — Resources in Jeopardy or — How to Turn a Difficult Economic Climate to Your Advantage.» The CIM Bulletin – Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. vol. 71, nº 794, pp. 101-106. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie. Montréal, Québec.

Headdon, D.K. 1978. «Recommendations for a Progressive Land Rehabilitation Model for Pits and Quarries.» Thèse de B.E.S. non publiée. University of Waterloo. Waterloo, Ontario.

Hewitt, D.F. 1962. Urban Expansion and the Mineral Industries in the Toronto–Hamilton Area. Industrial Report No. 8. Ministère des Mines de l'Ontario. Toronto, Ontario.

_____. 1969. Industrial Mineral Resources of the Markham–Newmarket Area. Ministère des Mines de l'Ontario. Toronto, Ontario.

Hewitt, D.F., et Vos, M.A. 1970. Urbanization and Rehabilitation of Pits and Quarries. Industrial Mineral Report. nº 34. Ministère des Mines et des Affaires du Nord de l'Ontario. Toronto, Ontario.

Hogan, D. 1978. Pits and Quarries: Government Involvement in their Planning, Operation and After-Use. Overview nº 5. Comité intergouvernemental sur la recherche urbaine et régionale. Toronto, Ontario.

Hora, Z.D., et Basham, F.C. 1981. Sand and Gravel Study. 1980 British Columbia Lower Mainland. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources. Victoria, Colombie-Britannique.

Île-du-Prince-Édouard. «Excavation Pits and Regulations.» Planning Act. Chapitre P-6. 1976.

Jaakson, Reiner. 1981. «Recreation Design Alternatives for a Disturbed Urban Landform.» Landscape Planning. vol. 8, pp. 31–68. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.

Jewett, G.A. 1976*a*. «The Pits and Quarries Control Legislation in Ontario — Past, Present and Future.» Geographical Inter-University Resources Management Seminars (G.I.R.M.S.). vol. 6, pp. 4–12. Department of Geography, Wilfrid Laurier University. Waterloo, Ontario.

_____. 1976*b*. «The Future for Pits and Quarries in Ontario.» The CIM Bulletin – Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. vol. 68, nº 763, pp. 48–51. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie. Montréal, Québec.

_____. 1977. «Aggregates: A Case Study of Resource Management in Ontario — A Challenge in Communication.» Communication présentée à la 79e réunion générale annuelle de l'Institut canadien des mines. Miscellaneous Paper MP 74. Ontario Geological Survey. Toronto, Ontario.

Kitchener. 1982. Department of Planning and Development Staff Report–Aggregate Extraction Policies. P.D. 60/82. Department of Planning and Development. Kitchener, Ontario.

Large, Peggy. 1978. Sand and Gravel in Manitoba. Division des ressources minières, Ministère des Mines, des Ressources et de la Gestion de l'environnement. Winnipeg, Manitoba.

Lowe, S.B. 1979. Trees and Shrubs: For the Improvement and Rehabilitation of Pits and Quarries in Ontario. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Toronto, Ontario.

Mackintosh, E.E., et Mozuraitis, E.J. 1982. Agriculture and The Aggregate Industry: Rehabilitation of Extracted Sand and Gravel Lands to an Agricultural After-Use. Industrial Mineral Background Paper 3. Direction des ressources minières, Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Toronto, Ontario.

MacLaren Plansearch. 1982. Guide de l'Environnement: Carrières et Sablières. Programme des Ressources Territoriales des Affaires du Nord, Ministère des Affaires indiennes et du Nord. Ottawa, Ontario.

Manitoba. Ministère de l'Énergie et des Mines. 1981. Pit and Quarry Rehabilitation Guide Manual. Division des Ressources minières. Winnipeg, Manitoba.

Manitoba. Ministère des Mines, des Ressources naturelles et de l'Environnement. Division des ressources minières. 1979. Gravel and Quarry Mineral Resources in the MSTW Planning District — Resource Utilization and Pit Rehabilitation. Winnipeg, Manitoba.

Manitoba Regulation 226/76. 1976. Quarrying Minerals Regulation. Subsequent Amendments and Regulations to 1980.

Manitoba. Loi sur les mines. Chapitre M160. Subsequent Amendments and Regulations to 1978.

Marshall, I.B. 1983*a*. Mines, utilisation des terres et environnement I: un aperçu général au Canada. Série de l'utilisation des terres au Canada nº 22. Direction générale des terres. Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

_____. 1983*b*. Mines, utilisation des terres et environnement II: Compte rendu des activités des récupérations minières au Canada. Série de l'utilisation des terres au Canada nº 23. Direction générale des terres. Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

McLellan, A.G. 1967. The Distribution of Sand and Gravel Deposits in West Central Scotland and some Problems Concerning Their Utilization. Monograph. University of Glasgow, Glasgow, Scotland.

_____. 1969. «Geomorphology and the Sand and Gravel Industry.» Scottish Geographical Magazine. vol. 85, nº 3, pp. 162–170. The Royal Scottish Geographical Society. Edinburgh, Scotland.

_____. 1971*a*. «The Predicament of the Sand and Gravel Industry — The Provincial and Local Situations, the Waterloo County Area.» Selected Geographical Essays. pp. 217–229. Edité par A.G. McLellan. University of Waterloo. Waterloo, Ontario.

_____. 1971*b*. «Problems Facing a Growing Aggregates Industry — A Canadian Assessment.» Journal of Cement Lime and Gravel. vol. 46, nº 9, pp. 217–219. London, England.

_____. 1971*c*. «The Extractive Industry in Ontario — A Necessary Evil?» Papers of the Niagara Escarpment Conference. pp. 7-11. Halton County Conservation Authority. Milton, Ontario.

_____. 1973. «Derelict Land in Ontario - Environmental Crime or Economic Shortsightedness?» Bulletin of the Conservation Council of Ontario. vol. 20, nº 4, pp. 9–14. The Conservation Council of Ontario. Toronto, Ontario.

_____. 1975. «The Aggregate Dilemma–The Conflicts of Public Sentiment and Industrial Conscience in Canada.» Bulletin of the Conservation Council of Ontario. vol. 22, nº 4, pp. 12–20. The Conservation Council of Ontario. Toronto, Ontario.

_____. 1975-76. Some Geographic Viewpoints of the Aggregate Industry's Problems. Seminar 1975–76. Sir Wilfrid Laurier University. Waterloo, Ontario.

_____. 1979. «Aggregate Mining and Rehabilitation.» Minerals and the Environment. vol. 1, nº 1, pp. 34–35. Science and Technology Letters. Kew, England.

_____. 1981. «Rehabilitation - Towards a Wiser Usage of Our Land Resources.» Canadian Resource Policies. Édité par B. Mitchell et D.W. Sewell. Methuen Ltd. Toronto, Ontario.

_____. 1983. «The Geographer as Practitioner: The Challenges, Opportunities and Difficulties Faced by the Academic Consultant.» Le Géographe Canadien. vol. XXVII, nº 1, pp. 62–67. L'Association canadienne des géographes. University of Toronto Press. Toronto, Ontario.

McLellan, A.G., et Bryant, C.R. 1975. «The Methodology of Inventory–A Practical Technique for Assessing Provincial Aggregate Resources.» The CIM Bulletin – Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. vol. 68, nº 762, pp. 102–108. Montréal, Québec.

McLellan, A.G., et Graham, R. 1979. «Phased Rehabilitation System Guidelines.» Interface. nº 2, pp. 2–4. Aggregate Producers Association of Ontario. Downsview, Ontario.

McLellan, A.G.; Looker, L.; Li, L.; Taylor, C.; et Zalkind, N. 1981. «Public Involvement in Pits and Quarries Planning and Control in Ontario.» Manuscrit non publié. University of Waterloo. Waterloo, Ontario.

McLellan, A.G.; Yundt, S.E.; et Dorfman, M.L. 1979. «Abandoned Pits and Quarries in Ontario. A Program for Their Rehabilitation.» Ontario Geological Survey. Miscellaneous Paper 79. Ministère des Richesses naturelles. Toronto, Ontario.

Milligan, R.P. 1976. «The Agricultural Potential of Rehabilitated Land in the Cambridge District.» Thèse non publiée. University of Waterloo. Waterloo, Ontario.

Mollard, J.D. n.d. Air Photoanalysis: A Laboratory Manual of Selected Air Photos. J.D. Mollard and Associates. Edmonton, Alberta.

Morley, J. 1962. Gravel Pit Reclamation in the You Yangs. Forestry Technical Paper 8. Forestry Commission. Victoria, Colombie-Britannique.

National Academy of Sciences. 1974. The Rehabilitation of Western Coal Lands. Cambridge, Massachusetts.

Nouveau-Brunswick Règlements. 70-58. 1979. Règlement-Loi sur l'exploitation des carrières.

Nouveau-Brunswick. Loi sur l'exploitation des carrières. Chapitre Q-1. 1973.

Nouvelle-Écosse. Department of Development, Economics and Statistics. 1975. Mining Industry Profile and Impact Study. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Nouvelle-Écosse. Department of the Environment. 1978. Proposed Nova Scotia Regulation No. 1978 under the Environmental Protection Act (1973): Pit and Quarry Regulations. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Nouvelle-Écosse. Department of Mines and Energy. 1970. Gravel Extraction and Land Planning in Central Nova Scotia. Halifax, Nouvelle-Écosse.

Nouvelle-Écosse. Metalliferous Mines and Quarries Regulation Act. Chapitre 183. 1967.

Oehmichen, F. 1975. «Planification de l'exploitation des carrières en vue de leur récupération ultérieure.» Routes de Québec. nº 13, pp. 27–45. Association québécoise des techniques routières. Montréal, Québec.

Ontario. Ministère des Mines. 1970. A Guide to Site Development and Rehabilitation of Pits and Quarries. Industrial Mineral Report MR 3. Toronto, Ontario.

Ontario. Ministère des Richesses naturelles. 1979. An Act to Revise the Pits and Quarries Control Act. (Projet de loi). Toronto, Ontario.

_____. 1980. Pit and Quarry Rehabilitation: The State of the Art in Ontario. Direction de la gestion des forêts. Toronto, Ontario.

Ontario. Gouvernement de l'Ontario. 1977. A Policy for Mineral Aggregate Resource Management in Ontario. Rapport du Ontario Mineral Aggregate Working Party. Ministère des Richesses naturelles. Toronto, Ontario.

Ontario. Mineral Aggregate Resource Policy. 1981. Un énoncé de politique provinciale sur la planification des ressources des agrégats miniers. Toronto, Ontario.

Ontario. Ministère des Richesses naturelles. 1975. Vegetation for the Rehabilitation of Pits and Quarries. Direction de la gestion des forêts. Toronto, Ontario.

Ontario. Ministère des Richesses naturelles/Ministère des Transports et des Communications. 1977. A Plan for Development. Ministère des Richesses naturelles. Toronto, Ontario.

Ontario. Ministère des Richesses naturelles. n.d. Ontario Mineral Aggregates — A Vital Resource. (pamphlet). Toronto, Ontario.

Ontario. Ministère de l'Environnement. 1981. Separation Distances for Pits and Quarries: S.E. Region Approvals and Planning Board.

Ontario. The Pits and Quarries Control Act. Chapitre 96. 1971. Subsequent Amendments and Regulations to 1973.

Pearson, J.D. 1973. «The Public Regulation of Pits and Quarries in Ontario.» Thèse de maîtrise non publiée. University of Waterloo. Waterloo, Ontario.

Peat, Marwick and Partners, et M.M. Dillon Ltd. 1980. Mineral Aggregate Transportation Study. Rapport final. Ministère des Richesses naturelles. Toronto, Ontario.

Planning Initiatives. Consultants. Kitchener, Ontario.

Presant, E.W., et Wicklund, R.E. 1971. The Soils of Waterloo County. Ontario Soils Survey Report nº 44. Direction de la recherche, Ministère de l'Agriculture du Canada. Ottawa, Ontario.

Proctor and Redfern Limited. 1981. Towards the Year 2000: A Study of Mineral Aggregates in Central Ontario. Résumé d'un rapport préparé pour le ministère des Richesses naturelles. Toronto, Ontario.

Proctor and Redfern Limited, et Gartner Lee Associates Limited. 1976. Mineral Aggregate Study and Geological Region of Ontario. Préparé pour le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Toronto, Ontario.

_____. 1977. Mineral Aggregate Study and Geological Inventory — Southwestern Region of Ontario. Préparé pour le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Toronto, Ontario.

Reynolds, J.K. 1980. The Evolution of a Mineral Aggregate Policy for the Province of Ontario. Geographical Inter-University Resource Management Seminars (G.I.R.M.S.) vol. 10, pp. 105–141. Department of Geography, Wilfrid Laurier University. Waterloo, Ontario.

RPC Ltd. 1975. A Historic and Present Land Use and Open Space Inventory of The Winnipeg Region. Ministère des Affaires municipales du Manitoba. Winnipeg, Manitoba.

Schaller, F.N., et Sutton, P., éds. 1978. Reclamation of Drastically Disturbed Lands. American Society of Agronomy *et al.* Madison, Wisconsin.

Schellie, Kenneth L. 1977. Sand and Gravel Operations: A Transitional Land Use. National Sand and Gravel Association. Silver Spring, Maryland.

School of Landscape Architecture. 1971. Symposium on Exploration, Extraction and Rehabilitation of Aggregate Deposits. University of Guelph. Guelph, Ontario.

Scott, W.D., et Armstrong, J.J. 1978. «Phased Extraction and Rehabilitation of the Puslinch Crown Resources Area.» Travaux de la 3e réunion annuelle de l'Association canadienne de la récupération des terres tenue du 29 mai au 1er juin. Université Laurentienne. Sudbury, Ontario.

Silvertson, L., et Carson, R. 1974. Sand and Gravel in British Columbia — A Commodity Study. Department of Mines and Petroleum Resources. Colombie-Britannique. Victoria, Colombie-Britannique.

Simmons, Michael Donald. 1970. «Towards a Socially Relevant Geomorphology: A Case Study from Prince Edward Island.» Thèse de maîtrise. University of Victoria. Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard.

Smith, K.G. 1977. «Forecasting Future Supplies and Demands Within the Mineral Aggregate Industry.» Une communication présentée à la Réunion générale annuelle de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie – Division des minerais industriels. Proctor and Redfern Limited. Toronto, Ontario.

Soil Conservation Society of America. 1980. «Surface Mine Reclamation — A Position Statement.» Journal of Soil and Water Conservation. vol. 35, nº 6, a supplement. Soil Conservation Society of America. Ankeny, Iowa.

Stamm, G.M. Economic Research Associates. 1978. The Mineral Aggregate Industry in Ontario: Some Issues. Aggregate Producers Association of Ontario. Toronto, Ontario.

Stratton, John. 1980. «Only an Interim Use of the Land.» Pit and Quarry. vol. 72, nº 8. Pit and Quarry Publications, Inc. Chicago, Illinois.

Terre-Neuve. The Quarry Materials Act. 1976. Subsequent Amendments to 1978.

Thirgood, J.V. 1973. «Land Reclamation Must Follow Land Disturbance.» Canadian Mining Journal. vol. 93, nº 12, pp. 33–40. National Business Publications Ltd. Gardenvale, Québec.

_____. 1978. «Extent of Disturbed Land and Major Reclamation Problems in Canada.» Reclamation of Drastically Disturbed Lands. pp. 45–68. Édité par F.N. Schaller et P. Sutton. American Society of Agronomy *et al.* Madison, Wisconsin.

United States Department of the Interior. 1967. Surface Mining and Our Environment. U.S. Government and Printing Office. Washington, D.C.

Vanderveer, D.G., *et al.* 1981. «Toward an Inventory of Aggregate Resources in Newfoundland and Labrador.» Présenté à la 83e réunion générale annuelle de l'Institut canadien des mines et de la métallurgie, tenue du 3 au 6 mai. Department of Mines and Energy. St. John's, Terre-Neuve.

Veillette, J.J. 1972. «Evaluation of the Electrical Earth Resistivity Method for Planning Utilization Procedures of Sand and Gravel Reserves.» Thèse de maîtrise non publiée. University of Waterloo. Waterloo, Ontario.

Washburn, A.L.; Sanders, J.E.; et Flint, R.F. 1963. «A Convenient Nomenclature for Poorly Sorted Sediments.» Journal of Sedimentary Petrology. vol. 33, nº 2, pp. 478–480. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, The American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma.

White, Owen. 1979. «Mining and Land Re-Use in Southern Ontario.» Perspectives on Natural Resources: Proceedings of Symposium II Land. Frost Campus of Natural Resources. Sir Sanford Fleming College. Lindsay, Ontario.

Yundt, S.E. 1969. «Resource Development of the Sand and Gravel Industry: A Conflict in Resource Evaluation and Use — Re-Use of Land.» Mémoire de B.A. non publié. University of Guelph. Guelph, Ontario.

_____. 1975. «Social Pressures and the Aggregate Industry.» CIM Bulletin Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. vol. 68, nº 763, pp. 57–60. L'Institut canadien des mines et de la métallurgie. Montréal, Québec.

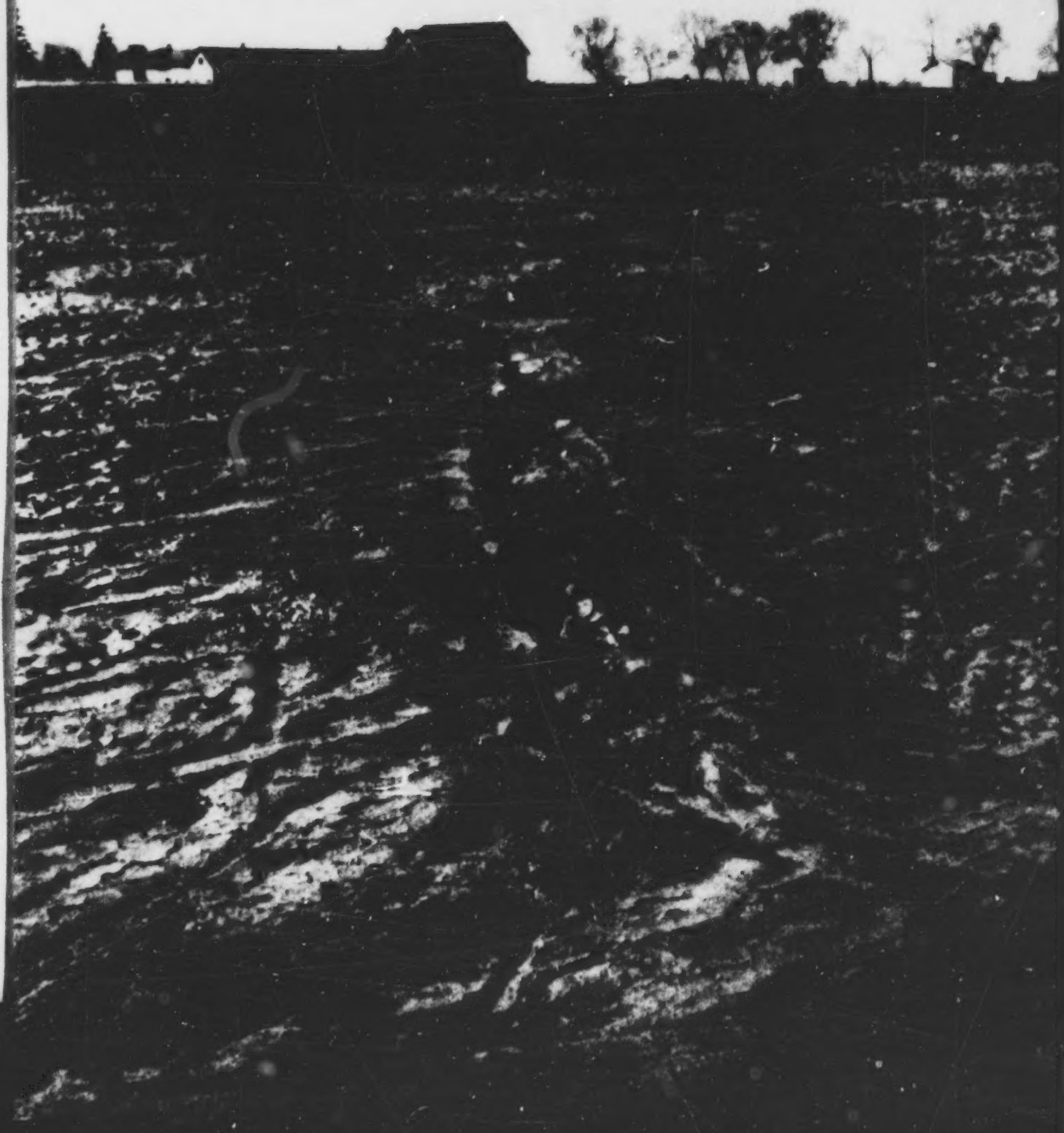
_____. 1977. «A Case Study of Materials and Techniques Used in the Rehabilitation of a Pit and a Quarry in Southern Ontario.» Travaux de la 2e réunion générale de l'Association canadienne de la récupération des terres tenue du 17 au 20 août. University of Alberta. Edmonton, Alberta.

_____. 1979. «Mineral Aggregates Mined Efficiently in an Environmentally Sensitive Area.» Western Miner. vol. 52, nº 11, p. 17–22. Western Miner Press Ltd. Vancouver, Colombie-Britannique.

Yundt, S.E., et Augaitis, D.B. 1979. From Pits to Playgrounds. Ministère des Richesses naturelles. Toronto, Ontario.

_____, et Messerschmidt, B.P. 1979. «Legislation and Policy Mineral Aggregate Resource Management in Ontario. Canada.» Minerals and the Environment. vol. 1, nº 3, pp. 101–111. J.W. Larman. Cambridge, Great Britain.

DÉGRADATION DES TERRES AGRICOLES



DÉGRADATION DES TERRES PAR SUITE D'UNE UTILISATION AGRICOLE INTENSIVE

D.R. Coote*

* *Dr D.R. Coote est spécialiste dans la dégradation du sol à l'Institut de recherches sur les terres, Agriculture Canada à Ottawa (Ontario) et chef du Projet de protection des ressources à cet Institut.*

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	247
Dégradation des terres agricoles par suite d'une utilisation intensive	247
Liens entre l'exploitation agricole et d'autres utilisations des terres	247
La dégradation des sols et le bien-être national	247
Historique de la dégradation des sols au Canada	248
LES FORMES DE DÉGRADATION DES TERRES AGRICOLES ET LEURS EFFETS	249
Pertes de matériaux	249
Érosion hydrique	249
Érosion éolienne	252
Pertes de matières organiques	255
Affaissement des sols organiques	257
Dégradation chimique des terres agricoles	259
Salinisation du sol	259
Acidification du sol	263
Contamination du sol	267
Dégradation physique des terres agricoles	269
Tassement du sol	269
Mélange et perturbation du sol	271
IMPACT ÉCONOMIQUE DE LA DÉGRADATION DES TERRES	272
Valeur des terres	272
Productivité	273
Coûts écologiques	274
LOIS ET OPTIONS POLITIQUES POUR LA LUTTE CONTRE LA DÉTÉRIORATION DES TERRES	274
REMERCIEMENTS	275
BIBLIOGRAPHIE	276

CARTES

1. Risque relatif d'érosion éolienne 253
2. Sols affectés par le sel et risque relatif de salinisation des sols 262
3. Risque relatif d'acidification des sols 265

FIGURES

1. Teneurs du sol en matières organiques et en azote à Lethbridge (Alberta) dans les terres à monoculture de blé et à rotation blé-jachère sur une période de 70 ans 256
2. Affaissement observé de sols organiques à Holland Marsh (Ontario) 259
3. Mécanisme classique de développement de la salinité dans les terres arides 260

TABLEAUX

1. Superficie des terres agricoles au Canada 248
2. Teneurs en matières organiques des sols superficiels en Ontario et au Québec, et d'azote dans les sols du Québec, sous l'influence des pratiques agricoles 256
3. Addition annuelle approximative à l'acidité du sol par les dépôts atmosphériques (1977–1979) et l'utilisation d'engrais (1974–1979) 264

INTRODUCTION

Dégradation des terres agricoles par suite d'une utilisation intensive

Les terres agricoles n'atteignent un taux de productivité acceptable que grâce à la gestion des sols, des cultures et des eaux, notamment par les méthodes suivantes: mise en état des terres pour la lutte contre les mauvaises herbes et l'optimalisation des conditions nécessaires à la propagation des semences; fertilisation des plantes par l'emploi de fumier, de minéraux extraits du sol et de produits chimiques; enfin régulation de l'humidité du sol par le drainage, l'irrigation et la mise en jachère. Ces méthodes de gestion, bien qu'énergivores, profitent immédiatement aux agriculteurs. Toutefois, sur de longues périodes, elles ont souvent des effets négatifs qui entraînent la dégradation des terres agricoles et parfois aussi des milieux avoisinants.

Les conséquences néfastes qu'entraîne l'utilisation intensive des terres agricoles du Canada peuvent se classer en trois catégories: 1) perte des sols par l'érosion éolienne ou hydrique et par l'oxydation des matières organiques; 2) altération chimique des sols par la salinisation ou l'acidification et par l'influence de métaux lourds; et 3) altération physique par suite du tassement des sols. L'altération chimique et physique des terres agricoles a également des causes externes telles que le dépôt de substances chimiques en suspension dans l'atmosphère et la perturbation du sol pendant l'extraction de minéraux (sable, gravier, charbon, etc.) et lors de la pose de pipelines. La dégradation des sols, causée par des facteurs agricoles ou autres, finit par nuire à l'exploitation des fermes en réduisant le rendement des cultures, en nécessitant l'emploi de plus grandes quantités d'engrais, en exigeant une consommation d'énergie accrue pour le travail de la terre et en augmentant le risque de mauvaises récoltes les années de mauvais temps.

La dégradation des terres agricoles se traduit généralement par l'appauvrissement des sols et la diminution des surfaces arables. L'agriculture est l'un des principaux types d'utilisation des terres au Canada: la superficie totale des terres agricoles dépasse 46 millions d'hectares. Toute diminution de la qualité ou de la quantité de cette ressource, même minime, peut donc avoir de graves conséquences sur l'environnement et les réserves alimentaires.

Mais l'exploitation agricole intensive ne produit pas nécessairement des effets négatifs. L'exploitation agricole peut être grandement améliorée par l'emploi combiné de bonnes méthodes de gestion des sols et des eaux, l'utilisation de fumiers, d'engrais et de chaux, et le choix de cultures qui n'entraînent pas la dégradation ou l'épuisement du sol. Idéalement, il faudrait viser à maintenir un système stable et permanent. Malheureusement, en raison de la spécialisation croissante des systèmes d'exploitation agricole et de l'utilisation de plus en plus grande des terres agricoles à d'autres fins, l'heure est plutôt au pessimisme.

Liens entre l'exploitation agricole et d'autres utilisations des terres

La dégradation des terres agricoles a des répercussions sur ceux qui les utilisent et sur les autres terres. Ainsi, l'érosion hydrique entraîne la détérioration des cours d'eau par l'envasement et la pollution, qui se répercutent sur l'alimentation en eau des agglomérations et des industries, les loisirs, la faune, les pêches et même la navigation (p. ex. par l'obligation de draguer les zones portuaires). Par ailleurs, les vents entraînent des matériaux dans les cours d'eau, soulèvent des nuages de poussière qui endommage les bâtiments et les machines, et aplatit la végétation.

La diminution de la productivité agricole qu'entraîne la salinisation, l'acidification, la perturbation ou le tassement des sols peut inciter les agriculteurs à utiliser une plus grande partie du reste de leurs terres pour y planter des cultures moins bien adaptées mais plus profitables. Cette démarche peut accentuer l'érosion et étendre le problème original à d'autres zones. Toute la société s'en ressent quand des agriculteurs utilisent des terres qui ne sont pas tout à fait propices à l'exploitation agricole, car elle perd autant d'habitats fauniques, de forêts et de terres à vocation récréative. Le maintien de rendements appropriés sur ces terres exige une plus grande consommation d'engrais et d'énergie, de sorte que le prix des aliments et les importations augmentent. Il est clair que le maintien de la qualité des terres agricoles touche non seulement le monde de l'agriculture mais la plupart des citoyens.

La dégradation des sols et le bien-être national

Bien que le Canada soit le deuxième pays du monde en superficie, les terres agricoles n'occupent pas une grande partie de son territoire. À cause de la froideur du climat, près de la moitié de notre pays (48, 2 %) ne se prête aucunement à l'agriculture sous quelque forme que ce soit (tableau 1). Une autre partie du territoire (28 %) est caractérisée par des sols arides ou rocheux et par un climat froid, à tel point que seuls quelques zones arables isolées peuvent y être exploitées. Ailleurs (23, 8 % de la superficie), le potentiel agricole est surtout fonction du type de sol. Au Canada, les terres cultivables occupent moins de 9 % du territoire et seulement la moitié d'entre elles, soit 41 millions d'hectares, sont réellement cultivées. L'autre moitié se compose de pâturages, de forêts, de zones à vocation récréative, de couloirs réservés au transport et de zones industrielles et urbaines.

Les sols qui ont des propriétés physiques et chimiques appropriées et qui subissent l'influence d'un climat favorable à de nombreuses cultures sont très rares. Ils n'existent que dans le sud de la partie continentale de la Colombie-Britannique, dans l'extrême sud du Manitoba, dans le sud de l'Ontario, dans la plaine de Montréal et dans la vallée d'Annapolis, en Nouvelle-Écosse. C'est uniquement dans le sud de l'Ontario que les agriculteurs peuvent produire sans problème des cultures d'une grande importance économique, comme celle du soja. Les progrès réalisés récemment en phytogénétique pourraient toutefois permettre de cultiver cette espèce avec succès dans le sud du Manitoba et du Québec.

Les terres propices à l'aménagement de vergers, pour la culture de la pêche par exemple, sont également très rares. C'est le cas seulement des régions de l'Ontario méridional qui sont influencées par le climat des Grands Lacs, comme la péninsule du Niagara et le sud des comtés de Kent et d'Essex. Le seul autre endroit au Canada qui appartient à cette catégorie est la vallée de l'Okanagan et les vallées avoisinantes, en Colombie-Britannique, où l'irrigation est toutefois nécessaire. C'est également l'irrigation qui a permis d'utiliser une partie importante de la région du sud de l'Alberta pour la culture du maïs, de la betterave à sucre et des légumes. Autrement, ces activités n'auraient pu avoir lieu que dans les régions précitées, qui jouissent d'un climat favorable. Compte tenu du fait qu'au Canada l'étendue des terres à potentiel élevé est très limitée dans les zones climatiques les plus propices à l'agriculture, il est évident que le maintien de la qualité de ces sols revêt une extrême importance pour tous les citoyens.

TABLEAU 1.
Superficie des terres agricoles au Canada

	Superficie ($x10^6$ ha)	Pourcentage de la superficie des terres du Canada
Utilisation actuelle+:		
Terres cultivées et en jachère	40,7	4,4
Pâturages amendés	4,4	0,5
Autres terres améliorées (construction, etc.)	1,0	0,1
Total des terres améliorées	46,1	5,0
Total des terres des exploitations agricoles	65,9	7,2
Terres agricoles de classe 1–4++	81,7	8,9
Total de la superficie avec climat approprié à l'agriculture+++	218,6	23,8
Total de la superficie avec climat limitant grandement l'agriculture par:		
— les basses températures	227,3	24,8
— la sécheresse	29,3	3,2
Superficie restante sans aucune capacité agricole	442,9	48,2
Superficie totale du Canada	918,1	100,0

\+ Statistiques Canada, 1982.

++ Shields et Nowland, 1975; comprenant les estimations pour la Colombie-Britannique, 1979.

+++ Clayton *et al.*, 1977.

Ainsi, le tiers environ du soja consommé ici est importé et ce, à un coût qui influe sur notre balance des paiements. Et ce sont précisément les terres propices à la culture de cette espèce qui sont les plus touchées par des phénomènes comme l'érosion, le tassement et l'acidification des sols. Si bien que toute baisse de la productivité de ces terres augmente la dette nationale et notre dépendance envers les politiques et la productivité d'autres pays. Cela pourrait s'appliquer également à des cultures comme celles du maïs et des fruits. Dans ce dernier cas, nous importons près de la moitié des fruits que nous pouvons cultiver chez nous.

Les exportations de blé, d'autres céréales et de graines oléagineuses, surtout à partir des provinces des Prairies, constituent une des principales sources de revenu du Canada et sont la principale cause de nos excédents commerciaux d'année en année. Sur la plupart des terres consacrées à ces cultures, l'apport en nutriments résultait de la lente décomposition des matières organiques qui s'y étaient accumulées depuis des milliers d'années. Mais aujourd'hui cet apport diminue et il faut maintenir les rendements par l'utilisation massive d'engrais. En outre, les sols subissent les effets de l'érosion persistante qui a accéléré les pertes de matières organiques et de la salinisation de zones aux sols non initialement salins. Le maintien et l'augmentation des exportations de céréales sont donc étroitement liés au maintien de la qualité des sols par la gestion des matières organiques et la lutte contre l'érosion et la salinisation.

Historique de la dégradation des sols au Canada

Au Canada, la plupart des types de dégradation des sols n'ont été découverts que récemment. Ce n'est cependant pas le cas de l'érosion éolienne, connue depuis l'arrivée des premiers pionniers dans les Prairies (Anderson, 1975). La plupart des colons du sud des Prairies craignaient ce type d'érosion même avant les grandes sécheresses des années 30 (sécheresse connue sous le nom de «dust bowl» dans la région). Et la popularité croissante des jachères d'été - terrains labourés tous les deux ou trois étés mais auxquels on ne fait pas porter de culture - a aggravé la situation. Les jachères d'été permettent d'augmenter la teneur en nutriments (par l'oxydation des matières organiques) et l'humidité du sol entre les cultures, ce qui fait augmenter le rendement les années où ces terres portent des cultures. Les mauvaises cultures qui ont marqué la période de sécheresse de 1917 à 1920, pendant laquelle des milliers de fermiers ont abandonné leurs terres, ont entraîné une érosion massive et de grandes difficultés économiques, maux qui ont sévi pendant près de vingt ans. Pourtant, l'adoption de la Loi sur le rétablissement agricole des Prairies, en 1935, a donné plus d'envergure au Service des fermes expérimentales du ministère de l'Agriculture du Canada. L'addition d'installations de démonstration dans les fermes expérimentales a permis d'encourager l'emploi de méthodes comme la culture en bandes, la culture en sillons perpendiculairement aux vents dominants, la culture aux engrais verts (en place de labourage) et l'aménagement de brise-vent (Thompson, 1953). La loi précitée a permis de réensemencer de vastes zones abondonnées et très érodées pour en faire des pâturages communautaires permanents. Elle a également permis de créer des Associations pour l'avancement de l'agriculture au sein desquelles les fermiers se groupaient pour échanger des informations et trouver des solutions à leurs problèmes communs.

Jusqu'à récemment, on croyait que l'érosion éolienne était totalement maîtrisée. La lutte s'est relâchée et les agriculteurs ont négligé l'entretien des brise-vent et fait moins de culture en bandes, si bien que les sols sont redevenus vulnérables à l'érosion éolienne.

En matière de qualité des sols au Canada, l'érosion éolienne est le problème qui a reçu la plus grande attention. Bien qu'elle sévisse depuis les premiers défrichages, ce n'est que dans les provinces Maritimes que l'érosion hydrique a eu une influence significative sur le rendement des cultures, surtout au cours des vingt dernières années. La lutte énergique contre l'érosion des sols aux États-Unis pendant les années 1930 et 1940 a eu certaines répercussions au Canada, principalement en Ontario, mais les ressources humaines et financières consacrées à cette lutte dans notre pays ne sont pas comparables à celles engagées par la création du Soil Conservation Service chez nos voisins du Sud. Dans l'est du Canada, les conditions climatiques et les méthodes d'exploitation agricole n'ont pas entraîné les graves problèmes d'érosion auxquels les Américains ont dû faire face. L'enthousiasme s'est attiédi avec le temps et les quelques agriculteurs canadiens qui avaient commencé à expérimenter la culture en terrasses et la culture suivant les courbes de niveau ont fini par jeter le manche après la cognée.

Quelques parcelles d'essai ont été établies dans des stations de recherche, relevant des gouvernements ou des universités, pour étudier l'érosion des sols. Des études ont d'abord en lieu à Ottawa, puis à Edmonton, à Guelph en Ontario, à Saint-Coeur-de-Marie et à Cap-aux-Corbeaux au Québec et à Charlottetown. Toutefois, elles ont toutes été interrompues. Mais récemment, l'intérêt pour l'érosion hydrique a suscité la création de parcelles expérimentales à Beaverlodge en Alberta, à Fort St. John en Colombie-Britannique, dans la région de la rivière de la Paix, et à Truro en Nouvelle-Écosse. Au cours des années 1950, le gouvernement de la Saskatchewan a créé un programme de lutte contre l'érosion par l'installation de canaux de drainage gazonnés, la dérivation de certains cours d'eau et la culture en bandes dans un bassin versant situé entre Prince-Albert et Yorkton. Le programme, interrompu au début des années 1970, a été repris à la demande des agriculteurs locaux. À l'heure actuelle, c'est au Nouveau-Brunswick que la lutte contre l'éro-

sion hydrique est la plus concertée: après des années d'inaction, on protège les champs de pommes de terre contre l'érosion par la construction de terrasses de dérivation et de canaux de drainage gazonnés.

Peu de mesures importantes ont été prises pour lutter contre les autres formes de dégradation des sols au Canada. Le problème de la salinité, par exemple, est connu depuis longtemps par les fermiers de certaines régions et est lié à la fuite de canaux d'irrigation dans d'autres, mais ce n'est que dans les publications faites à la suite des recherches préliminaires des années 1960 qu'on a commencé à le considérer comme un aspect de la gestion agricole. Actuellement, la salinisation est une des principales préoccupations du milieu agricole des Prairies et les créateurs des programmes agricoles de recherche et de vulgarisation, fédéraux et provinciaux, lui accordent une grande attention.

De même, l'acidification des sols, qui semble augmenter sous l'action combinée des engrais à base d'azote et des pluies acides, n'est étudiée en détail que depuis dix ans, bien que ce phénomène existe depuis des générations. Le travail fréquent du sol, souvent excessif et intempestif, entraîne le tassement du sol, autre phénomène étudié depuis peu de temps.

Le Canada a réussi à maintenir un rendement agricole très élevé grâce aux progrès accomplis dans le choix des variétés cultivées, des engrais, des pesticides et des machines. Mais les sols ont souvent été victimes de cette évolution technologique et d'une exploitation intensive ininterrompue. Soudainement consciente que les ressources énergétiques du globe sont limitées, et confrontée à une croissance démographique exponentielle, l'humanité commence enfin à se rendre compte que sa capacité de production alimentaire est limitée. Plus que jamais, les sols agricoles sont considérés comme une ressource rare, donc précieuse. Plus que jamais, ils doivent être utilisés avec sagesse si l'on veut qu'ils profitent aux générations futures.

LES FORMES DE DÉGRADATION DES TERRES AGRICOLES ET LEURS EFFETS

L'analyse des formes de dégradation des terres agricoles et de leurs effets se divisera en trois grandes sections: 1) pertes de matériaux, 2) détérioration chimique, et 3) détérioration physique. La première comprend l'érosion des sols et l'oxydation des matières organiques, la deuxième, la salinisation, l'acidification et la pollution, et la troisième, le tassement et les perturbations. Bien que les formes de dégradation décrites ici aient une certaine interdépendance et des effets communs, elles sont passablement distinctes et ont généralement des causes différentes. Il importe donc qu'elles soient considérées individuellement pour faire une analyse pondérée de l'ensemble du problème de la détérioration des sols agricoles.

Pertes de matériaux

Érosion hydrique

Processus d'érosion

L'érosion hydrique frappe même, dans une certaine mesure, les terres couvertes d'une abondante végétation et non perturbées. Elle est à l'origine d'une certaine partie des sols alluviaux les plus productifs au monde. Cependant, lorsque le sol subit l'attaque de l'eau sans être protégé par la végétation, l'érosion s'accélère et des particules de sols sont entraînées sur des distances variant de quelques centimètres à de nombreux kilomètres. Ce sont généralement les cas d'érosion les plus spectaculaires qui ameutent le public, mais l'érosion progressive d'un champ sur des distances relativement courtes peut finir par réduire la productivité du sol.

Les principaux facteurs qui déterminent la vitesse et l'ampleur de l'érosion hydrique sont les suivants: 1) la sensibilité du sol à la désagrégation par l'eau de pluie ou de ruissellement, qui est fonction de la granulométrie, de la teneur en matières organiques, du degré d'agrégation et de la stabilité structurale du sol; 2) l'intensité de la pluie ou du ruissellement; 3) l'inclinaison et la longueur des pentes, qui déterminent la vitesse et la concentration du ruissellement; 4) la présence de couches de glace dans le sol; et 5) la présence d'une couverture végétale ou d'une couche de débris végétaux qui protège le sol de la pluie et retarde son déplacement sous l'effet du ruissellement.

Il semble que les sols limoneux contenant peu de matières organiques soient les plus sensibles à l'érosion hydrique. Ce peut être aussi le cas des sols argileux ayant un faible degré d'agrégation, surtout lorsque ceux-ci sont saturés d'eau, phénomène qui se produit lorsque des couches de sol compact ou gelé font obstacle au drainage interne. Les gouttes de pluie désagrègent les agrégats exposés et les particules du sol sont entraînées par le ruissellement. Si le sol est gelé sous la surface - ce qui est fréquent au Canada au printemps - l'infiltration d'eau est négligeable et, par conséquent, le ruissellement est important. Les sols qui ont été labourés ou cultivés l'automne précédent et qui ne sont donc pas protégés par la végétation sont à la merci des pluies printanières. Tout d'abord, une mince couche d'eau couvre presque toute la surface du sol, c'est l'érosion en nappe. L'accumulation de l'eau de ruissellement dans des petits sillons produit l'érosion en rigoles (photo 1). Ces dernières peuvent se transformer en ravines qui empêchent le bon fonctionnement des machines agricoles et réduisent de façon permanente la productivité du sol (photo 2).

Photo 1. Cette érosion en rigole dans l'est de l'Ontario est le résultat du ruissellement printanier sur un sol labouré de façon intense l'automne précédent.
D.R. Coote, Agriculture Canada

De plus, l'érosion hydrique a pour effet d'éliminer ou de déplacer les nutriments nécessaires à la croissance des plantes. Le tri et la redistribution des particules du sol qui en résultent, entraînent souvent l'élimination de matières organiques et des fractions minérales à granulométrie très fine, qui sont les éléments les plus précieux du sol par leur grande capacité de rétention et de dégagement des nutriments utiles aux plantes. L'érosion réduit le volume de la couche arable, et par voie de conséquence la capacité capillaire du sol, ce qui entrave le développement des racines et la croissance uniforme des plantes. Elle entraîne aussi l'envasement des voies naturelles de drainage en surface et, par la suite, l'étouffement des pousses au printemps et l'encroûtement des surfaces lorque la vase sèche.

Au Canada, le taux annuel de formation du sol serait de 0,25 à un peu plus de 1 t/ha environ. Or, il n'est pas rare d'observer des taux d'érosion de 20 à 25 t/ha sur les terres agricoles exposées à l'érosion en rigoles et en ravines.

L'érosion du sol se révèle aussi très néfaste pour l'environnement. Elle favorise le transport de particules polluées, notamment par du phosphore et des pesticides persistants, jusque dans les cours d'eau et les lacs, ce qui détériore la qualité de l'eau pour les poissons, la faune, les loisirs et les réseaux d'alimentation municipaux. Même s'ils ne sont pas pollués, les sédiments transportés nuisent au milieu aquatique en réduisant la pénétration de la lumière et en recouvrant les frayères.

Photo 2. Cette ravine dans l'est de l'Ontario a été causée par un important ruissellement d'eau de pluie tôt au cours de la saison de croissance des plantes. Cela aurait pu être évité par l'ensemencement de la pente et l'établissement d'un canal tapissé d'herbe et muni d'un déversoir résistant à l'érosion.
K.D. Switzer-Howse, Agriculture Canada

Régions touchées et importance de l'érosion

L'érosion du sol se produit dans toutes les régions du Canada, mais elle est particulièrement importante dans les champs de pommes de terre de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick, dans les terres à maïs du sud du Québec et de l'Ontario, dans la région escarpée du Manitoba, dans la région de la Rivière de la Paix en Alberta et en Colombie-Britannique, et dans le sud de la partie continentale de cette dernière province.

L'érosion hydrique cause du souci aux agriculteurs des provinces Maritimes depuis de nombreuses années. Il y a longtemps que les champs de pommes de terre du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard y sont exposés. Mais, récemment, l'extension de la culture du maïs comme fourrage a eu pour effet de soumettre d'autres terres aux méfaits de l'érosion hydrique. Dans les provinces de l'Atlantique, l'érosion est favorisée par la présence de plaines onduleuses, l'existence d'horizons à perméabilité lente dans de nombreux sous-sols, les précipitations abondantes en automne et en hiver et les fréquents cycles de gel - dégel au printemps. En règle générale, les sols servant à la culture de la pomme de terre sont laissés à nu et à l'état meuble après la récolte et pendant l'hiver, et la monoculture (sans assolement) est très répandue. Le déchaumage, effectué pour faciliter la récolte mécanique, et l'enlèvement des clôtures, pour faire passer les grosses machines aratoires, ont aggravé la situation car le taux d'infiltration de l'eau a diminué et la longueur des pentes a augmenté dans les champs. Dans le cas du maïs, les courtes éteules très distancées qui restent sur place après la moisson ne protègent pas beaucoup le sol. Les terres consacrées à ces deux cultures subissent une forte érosion en nappe, en rigoles et en ravines. Et, compte tenu de la surface limitée des terres à potentiel agricole élevé dans les provinces de l'Atlantique, ces pertes de sol menacent une ressource précieuse et rare.

L'ampleur de l'érosion d'un des principaux types de sol cultivés a été mesurée à l'Île-du-Prince-Édouard. En une période de cinq ans, de 1973 à 1977, les pertes de sol annuelles variaient entre seulement 0,2 t/ha sur des pentes gazonnées ayant une inclinaison de 7 et de 12 % et 19,6 t/ha sur une pente de 12 % cultivée pour la pomme de terre. Ces pertes de sol étaient accompagnées de diminutions considérables des quantités de matières organiques et de nutriments en surface, de sorte que les terres en question devenaient plus vulnérables à l'érosion les années suivantes (Himelman et Stewart, 1979).

Les pertes de sol n'ont pas été mesurées au Nouveau-Brunswick, mais on estime que les terres cultivées s'érodent au rythme d'environ 42 t/ha en moyenne chaque année (Stewart, 1976). Dans la région de culture de la pomme de terre, plus de la moitié des terres à potentiel agricole ont une inclinaison d'au moins 5 %, ce qui suffit à favoriser l'érosion, en dépit de tous les soins. Des observations faites récemment sur le terrain révèlent qu'au moins le tiers des terres consacrées à la culture de la pomme de terre sont très érodées.

Faute de données, on ne connaît pas exactement l'importance de l'érosion hydrique en Nouvelle-Écosse. Une récente étude de petite envergure révèle ce qui suit: sur une période de deux ans, les pertes de sol annuelles étaient de 26 t/ha en moyenne dans un champ de maïs ayant une inclinaison de 9 %, mais les pertes réelles doivent être beaucoup plus élevées car les méthodes d'échantillonnage utilisées ont laissé échapper certains sédiments à grain fin, déplacés par l'eau (Kolstee, 1979).

Au Québec, l'érosion hydrique a été mesurée près du lac Saint-Jean et sur la côte nord du Saint-Laurent, à l'est de Québec. Au premier endroit, l'érosion annuelle moyenne était inférieure à 1 kg/ha dans un champ de foin et de 56,6 t/ha dans une jachère loameuse qui avait une pente uniforme de 10 % (Dubé, 1975). Au second endroit, caractérisé par un sol loameux, sableux et graveleux ayant une inclinaison de 15 %, les pertes en sol annuelles - sur une période de dix ans - variaient de 60 kg/ha dans les pâturages à plus de 28 t/ha dans les jachères nues. Dans les champs de pommes de terre aménagés en travers de la pente, les pertes de sol annuelles n'étaient que de 3,3 t/ha, tandis que dans les champs de pommes de terre établis dans le sens de la pente, les pertes moyennes étaient de 6 t/ha. En moyenne, 41 % des pertes de sol annuelles moyennes à cet endroit se produisaient pendant la période de fonte des neiges (Dubé et Mailloux, 1969).

Dans l'est de l'Ontario, la fonte printanière est une période assez dure: la fonte est importante et les pluies printanières tombent sur des sols gelés sous la surface. Les recherches entreprises pendant les années 1950 révèlent que le ruissellement printanier dans des champs de maïs caractérisés par un type de sol - l'argile de Rideau - produisait une érosion annuelle moyenne variant de 0 à 49 t/ha (Ripley *et al.*, 1961). L'érosion la plus intense était observée dans des champs de maïs aménagés de haut en bas d'une pente de 10 % de dénivellation. Un fort orage d'été a causé des pertes de sol de 145 t/ha. Néanmoins, la plupart des pertes annuelles totales se produisent pendant la fonte des neiges. On a découvert que la rotation des cultures avec l'avoine et la luzerne, l'utilisation de fumier et la culture en travers des pentes permettaient de contenir cette érosion. Mais avec les changements de systèmes d'exploitation agricole qui s'opèrent dans cette région, comme le remplacement de l'élevage du bétail et de la culture fourragère par des cultures commerciales, il est évident que l'assolement et l'emploi de fumier perdront leurs avantages. Pour lutter contre l'érosion, les agriculteurs seront donc réduits à labourer en travers des pentes et à réduire le travail du sol, option qui s'est précisée récemment.

Dans le sud de l'Ontario, où l'énergie totale des pluies (effet combiné de l'intensité et de la quantité des pluies) est la plus élevée au Canada, l'érosion atteindrait 12 t/ha annuellement dans les champs à surface passablement plane où seul le maïs est cultivé et 7 t/ha dans les champs plantés alternativement de maïs et de foin. En général, les pâturages subissent une érosion annuelle inférieure à 1 t/ha (Van Vliet *et al.*, 1978). Une étude effectuée sur le terrain, dans le sud-ouest de l'Ontario, révèle des pertes de sol annuelles moyennes de 19 t/ha dans un champ uniquement planté de maïs, à pente de 7 %, sur une période de 10 ans. Dans les champs soumis à la rotation des cultures de foin, d'avoine et de maïs, les pertes de sol annuelles dépassaient à peine 1 t/ha (Ketcheson et Webber, 1978).

Le passage graduel de la culture du foin et des petites céréales à celle du maïs se poursuit dans tout le secteur agricole de l'Ontario et du Québec au fur et à mesure que de nouvelles variétés adaptées au climat frais deviennent disponibles. La même chose se produit dans le cas du soja, mais seulement en Ontario pour l'instant. Les agriculteurs de ces régions pratiquent beaucoup le labourage d'automne pour éviter tout retard dans les semailles, au printemps suivant. Pour faciliter l'utilisation des grosses machines agricoles, ils ont enlevé les clôtures et défriché les

boisés et les zones à végétation dense près des cours d'eau. Les sols à granulométrie fine et moyenne, sans couverture végétale suffisante, sont donc exposés aux pluies et au ruissellement des eaux de fonte.

Dans le sud de l'Ontario, à cause de la proximité de Grands Lacs, la qualité des eaux est un facteur particulièrement important. L'influence de l'érosion sur la qualité des eaux dépend de la quantité de sol transportée dans les cours d'eau; cette quantité varie entre 10 et 30 % environ. Ce transport de sédiments vers le cours d'eau s'effectue surtout en février, en mars et en avril. Le problème est compliqué par l'existence d'un vaste réseau municipal de fossés de drainage, qui procurent un exutoire commode pour les eaux de drainage des fermes individuelles, mais favorisent également le transport des sols érodés. Souvent, ces fossés s'érodent et s'affaissent, ce qui accentue la sédimentation dans les cours d'eau.

Les orages, peu fréquents mais intenses, qui s'abattent l'été sur les régions relativement sèches des Prairies y causent une forte érosion hydrique en certains endroits. L'érosion en nappe gruge les buttes et l'érosion en rigoles et en ravines sévit près des ponceaux. C'est dans la partie sud de cette région, où les pluies sont les plus fortes, que l'érosion se fait le plus sentir. Les terres vallonnées et en pentes situées à l'ouest de la vallée de la rivère Rouge, dans le sud du Manitoba, y sont particulièrement sensibles. Les orages, brefs et très limités, sont imprévisibles, et comme il n'en est pas tenu compte dans les pratiques de gestion, ils peuvent produire une forte érosion sur leur passage. Une étude effectuée près d'Edmonton (Toogood, 1963) révèle que des parcelles en jachère d'été, caractérisées par des pertes de sol annuelles moyennes de 2 t/ha sur une période de 10 ans, ont perdu plus de 4 t de sol par hectare en moins d'une heure. En moyenne, l'érosion des jachères d'été équivalait à plus du double de celle de champs alternativement cultivés en céréales et mis en jachère, et était 40 fois plus intense que celle de champs soumis à une rotation de cultures de céréales, d'avoine, d'orge et de foin sur une période de 5 ans. Dans un autre secteur semi-aride de Swift Current, en Saskatchewan, les pertes de sol occasionnées par la fonte des neiges étaient quatre à huit fois plus élevées dans les jachères d'été que dans les chaumes (Nicholaichuk et Read, 1978).

L'érosion hydrique est également due aux pluies et au ruissellement des eaux de fonte des neiges dans la partie plus humide des régions agricoles des Grandes Plaines, en particulier sur les contreforts des Rocheuses en Alberta, dans la région de la Rivière de la Paix et dans le centre-est de la Saskatchewan (de Prince-Albert à Yorkton). Bien que les jachères d'été soient moins répandues dans ces régions, l'érosion hydrique est fréquente au printemps, lorsque les sols ont une protection minimale.

L'érosion hydrique est considérée comme un problème dans la partie inférieure de la vallée du Fraser, en Colombie-Britannique et, à un moindre degré, dans certaines parties de vallées de l'Okanagan et de la Kootenay, où l'on pratique des cultures intensives en lignes écartées, comme celles du maïs, de la pomme de terre et du raisin. Les pluies se produisent surtout en hiver, ce qui contribue à l'érosion des sols cultivés qui ne sont protégés par aucune végétation pendant cette saison. Dans les vallées de l'intérieur, les précipitations sont généralement faibles et l'irrigation est nécessaire pour mener à bien la plupart des cultures. La majorité des sols se composent de matériaux lacustres limoneux et sont donc très sensibles à l'érosion lorsqu'ils sont cultivés et irrigués. À l'heure actuelle, il n'existe aucune donnée sur l'ampleur des pertes de sol dans les vallées cultivées de la Colombie-Britannique.

Tendances

Dans l'est du Canada, l'érosion hydrique s'accentue et s'étend de plus en plus par suite des changements dans l'utilisation des terres. Elle prend également de l'importance dans certaines régions de l'Ouest, comme celle de la Rivière de la Paix où le défrichage est encore considérable.

Dans l'est du Canada, la culture du maïs s'est étendue constamment par suite de la découverte de nouvelles variétés à croissance rapide. Depuis le milieu des années 1960, il s'est produit des changements considérables dans les provinces Maritimes, où le maïs de fourrage a remplacé le foin et les petites céréales en certains endroits. Toutefois, c'est en Ontario et au Québec qu'on a converti le plus de terres à la production de maïs, surtout du maïs-grain, soit presque trois-quarts de million d'hectares supplémentaires entre 1966 et 1979. Pendant la même période, l'Ontario a plus que doublé sa production de soja par l'utilisation de plus d'un quart de million d'hectares supplémentaires à cette fin. Et puisque ces monocultures commerciales sont l'oeuvre d'agriculteurs dont le cheptel n'est pas suffisant pour justifier la culture du foin, il est clair que l'érosion va aller en augmentant dans l'est du Canada. De plus, il est très probable que la culture du maïs et du soja s'étende vers l'est car les programmes d'amélioration des espèces continuent de produire des variétés de plus en plus hâtives.

En Ontario, la plupart des changements se sont produits dans les comtés de l'est où de grandes étendues de sol productif à base d'argile continuent d'être drainées. Puisque les importations de maïs et de soja sont encore très élevées, il est fort probable que cette région sera utilisée de plus en plus pour ces cultures et donc que l'érosion hydrique augmentera.

Dans les provinces des Prairies, la tendance est à une légère diminution des jachères d'été et à une augmentation de la culture de plantes à chaume (culture de céréales année après année), surtout au Manitoba et en Alberta. Cette réduction des jachères d'été, alliée à l'emploi de méthodes perfectionnées qui exigent un travail minimum de la terre et qui permettent de laisser les résidus de récolte en surface, devrait réduire le risque d'érosion hydrique. Par ailleurs, dans le sud du Manitoba, les surfaces vouées à la culture du maïs ont augmenté considérablement ces dernières années et il existe aussi une culture limitée de soja. Si l'amélioration des variétés et la demande persistent au point que les sols à texture fine de cette région servent à la culture intensive du maïs et du soja, l'érosion hydrique y sera de plus en plus menaçante.

Sur la côte du Pacifique, l'érosion hydrique devrait s'accentuer avec la demande croissante de terres. Des agriculteurs font pousser des fraises et des framboises sur des terres moins riches et souvent très inclinées, car les terres productives des plaines inondables servent à la culture du maïs et des légumes. Au surplus, le prix des bonnes terres agricoles est élevé à cause des demandes d'espace pour l'expansion urbaine et industrielle et les loisirs. Et la situation n'est pas appelée à changer.

Un exemple des effets de l'érosion à l'Île-du-Prince-Édouard

Les résultats d'une étude faite à l'Île-du-Prince-Édouard donnent un exemple de la façon dont on peut évaluer et résoudre un problème d'érosion hydrique. La situation ressemble beaucoup à celle qui existe dans d'autres régions des provinces Maritimes.

Des chercheurs (Stewart et Himelman, 1975; Himelman et Stewart, 1979) ont observé une coloration des cours d'eau due à la présence de sédiments en suspension, même après des orages de faible intensité, et une forte érosion pendant la fonte des neiges. Au printemps, après la récolte de légumes cultivés en lignes, comme le maïs ou la pomme de terre, les longs champs inclinés étaient lézardés de nombreuses ravines atteignant jusqu'à 1 m de profondeur. À l'Île-du-Prince-Édouard, entre 1966 et 1972, avant le début de l'étude, l'importance des exploitations agricoles avait augmenté de 10 % et les fermiers, qui s'adonnaient de plus en plus aux cultures commerciales, avaient enlevé des clôtures et agrandi des champs. Ces changements ont aggravé le problème de l'érosion des terres ondulées, loameuses, sableuses et à faible teneur en matières organiques, typiques dans cette province. Stewart et Himelman ont établi une série de parcelles expérimentales sur une terre vouée à une des principales cultures, sur des pentes de 7 et de 12 % d'inclinaison. Ils y ont mesuré le ruissellement et les sédiments dans quatre parcelles caractérisées par des conditions différentes: culture de pommes de terre du haut en bas de la plus forte pente, culture de pommes de

terre en travers de la même pente, parcelle gazonnée et jachère nue. Après 5 ans de recherches, les auteurs ont abouti à d'importantes conclusions.

1) Les pertes de sol dues à l'érosion dans les jachères nues dépassaient toujours le double de celles observées dans les parcelles cultivées en pommes de terre dans le sens de la pente et étaient 200 fois plus élevées que celles subies par le terrain gazonné. Elles étaient respectivement de 18,7 et 41,1 t/ha sur les pentes de 7 et de 12 % d'inclinaison, en moyenne, chaque année. La plantation des pommes de terre en travers de la pente a fait baisser les pertes de sol dans une proportion de 86 et de 66 % respectivement sur les pentes de 12 et de 7 %.
2) Stewart et Himelman ont également découvert que le ruissellement et l'érosion ont entraîné la perte de 5 % de l'azote, de 3 % du phosphore et de 46 % du potassium utilisés comme engrais pour la culture de la pomme de terre du haut en bas de la pente. Avec l'addition des pertes en calcium et en magnésium, cela représentait en moyenne une perte de 33 % des quantités d'engrais et de chaux épandues sur les deux pentes.
3) Cette étude montre que c'est en avril que l'érosion se fait le plus sentir, surtout à cause de la fonte des neiges. Les auteurs estiment que la première démarche à faire serait de protéger la terre en y semant de petites céréales, comme le seigle, en automne, pour réduire l'érosion pendant la fonte des neiges. Ils considèrent également qu'il faudrait augmenter l'assolement, réduire la mise en jachère et éviter de cultiver les pommes de terre et le maïs, notamment sur des pentes abruptes, pour assurer un rendement écomonique des récoltes sur ces sols érodables.

Depuis la parution des résultats de cette étude, l'érosion des sols est un élément important des programmes agricoles de recherches et de vulgarisation de l'Île-du-Prince-Édouard. Les problèmes sont loin d'être résolus, mais la reconnaissance de leur existence est un premier pas important vers la généralisation de la lutte contre l'érosion.

Érosion éolienne

Processus d'érosion

L'érosion éolienne, tout comme l'érosion hydrique, prive d'abord les sols de leurs éléments les plus précieux et des nutriments qui s'y trouvent. Les principaux facteurs qui déterminent l'intensité de l'érosion éolienne sont les suivants: 1) la résistance des particules du sol à la prise du vent en fonction des dimensions des particules et de leurs agrégats et de leur degré d'humidité; 2) la vitesse du vent, qui dépend en partie de la protection assurée par les brise-vent et les cultures; 3) la rugosité du sol, qui fait varier la prise du vent; et 4) la présence de plantes ou de résidus de récolte qui protègent le sol du vent (Chepil et Woodruff, 1963).

Ce sont les sols sableux à grain fin qui sont les plus sensibles à l'érosion éolienne car ils se composent d'un grand nombre de particules dont les dimensions - 0,2 à 0,84 mm de diamètre - les rendent très vulnérables à la prise du vent. Les particules plus petites, quant à elles, forment généralement des agrégats agglomérés par des liens chimiques et physiques renforcés par la présence de matières organiques. Si ces agrégats ont les dimensions appropriées, l'érodabilité du sol en sera accrue. Donc, presque tous les sols s'éroderont s'ils sont suffisamment secs et si les vents sont forts. Même les sols humides peuvent s'assécher en surface très rapidement sous l'action combinée de l'insolation et de forts vents secs. Une fois que l'érosion est commencée, les particules qui se déplacent à la surface du sol en entraînent d'autres.

L'aménagement de brise-vent ou de bandes de terre couverte de végétation, perpendiculairement à la direction des vents dominants, permet de réduire la vitesse des vents sur des distances considérables en aval et de capter les particules de sol en mouvement. Plus le sol est érodable, plus ces obstacles devraient être rapprochés, de manière à empêcher le vent de s'intensifier suffisamment pour éroder le sol dans les intervalles. En cas d'urgence, l'érosion éolienne peut être réduite par un labourage perpendiculaire à la direction du vent et l'accumulation de grosses mottes de terre ramenées en surface à l'aide de sous-soleuses. Toutefois, la mesure la plus efficace consiste à recouvrir le sol d'un paillis de chaume, de paille ou d'autres débris végétaux qui empêchera la prise du vent sur le sol.

Régions touchées et importance de l'érosion

Les types de sol (textures), la vitesse moyenne des vents et le degré moyen d'humidité des sols sont les facteurs qui ont servi à évaluer les risques d'érosion éolienne au Canada (carte 1). Cette forme d'érosion dépend des mesures de protection adoptées et de l'effet combiné, à un endroit et à une période donnés, de la force des vents et de la sécheresse de la surface du sol.

Dans les provinces de l'Atlantique, le problème de l'érosion éolienne est moins important que dans les autres régions du Canada, car les précipitations y sont plus fortes, les cultures fourragères plus dispersées et les forêts plus étendues. L'Île-du-Prince-Édouard est la province de l'Atlantique la plus sensible à l'érosion éolienne: ses sols sont sableux, elle est balayée par de forts vents et une partie relativement grande des terres est cultivée. Mais les agriculteurs de cette province ne considèrent pas encore l'érosion éolienne comme un problème grave, bien qu'on y voie parfois de la terre et du sable se déplacer en roulant sous l'effet du vent. La situation est presque identique dans les sols sableux du Québec et de l'est de l'Ontario. Habituellement, les sols éoliens ne se trouvent que dans les zones vouées à la culture du maïs ou de la pomme de terre et où les clôtures et les haies ont été enlevées pour agrandir les champs. Ces dernières nuisent au bon fonctionnement des grosses machines aratoires, mais elles forment des brise-vent très efficaces.

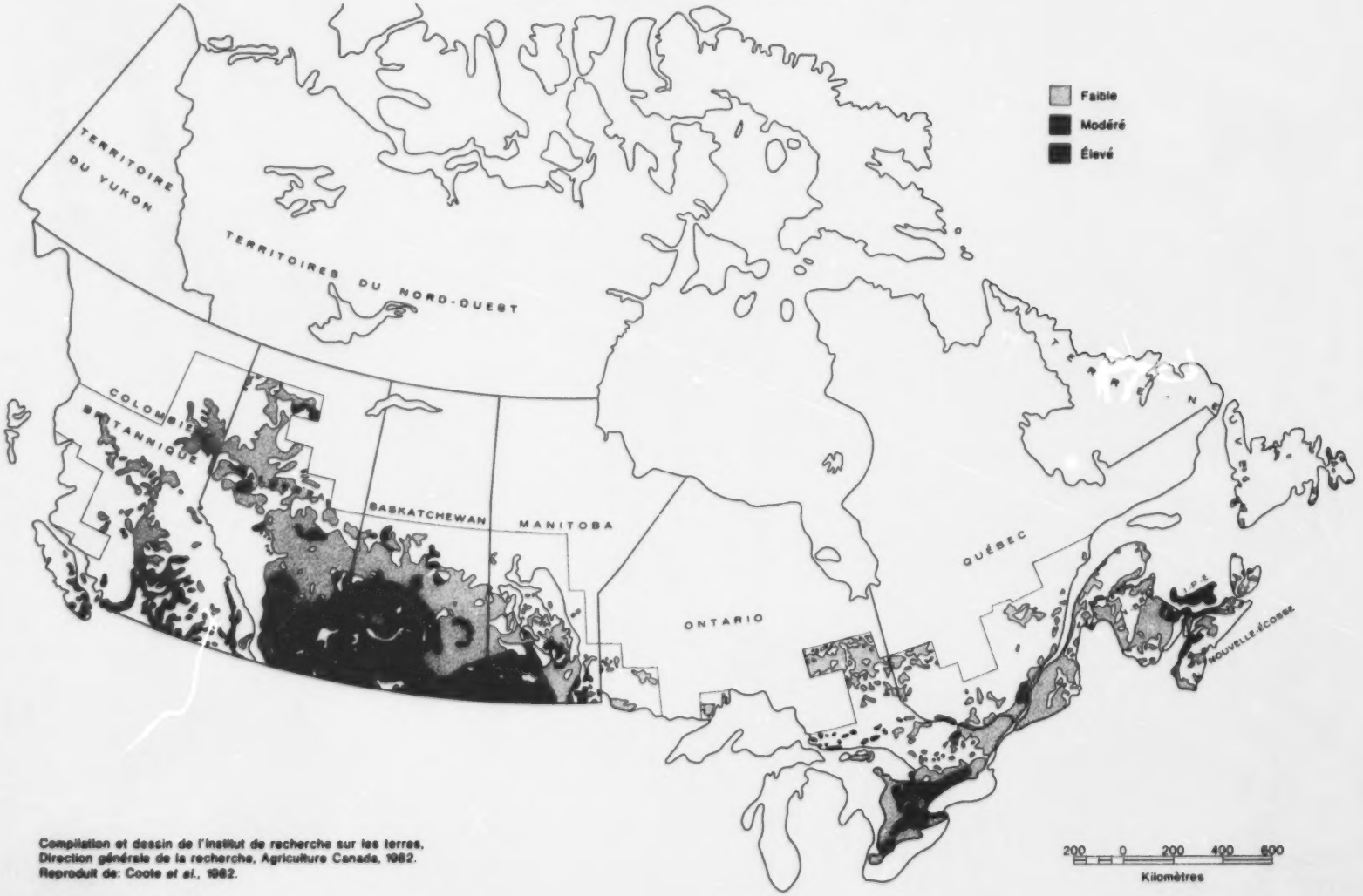
Selon Baldwin et Acton (1978), l'érosion éolienne est devenue un problème dans le sud-ouest de l'Ontario. C'est à la fin de l'hiver que le risque d'érosion est le plus grand, car la neige a fondu ou a été dispersée par le vent et les billons sont mis à nu alors que le gel a desséché et désagrégé les mottes de terre. Au cours de printemps exceptionnellement secs, l'action du vent sur le sol peut causer des problèmes pendant et après les semailles, surtout là où les clôtures et les haies ont été enlevées et là où les sols ont une teneur en matières organiques, une structure et une cohésion faibles résultant d'une surculture pratiquée pendant un certain temps. Les sols sableux plantés en maïs et en pommes de terre semblent être les plus vulnérables, bien que même les sols argileux soient touchés lorsque les conditions s'y prêtent.

Les régions les plus vulnérables à l'érosion éolienne sont le sud-est de l'Alberta et le sud-ouest de la Saskatchewan, où les vents forts et les terres sèches créent les conditions les plus propices à ce phénomène. Ces régions sont également balayées par le chinook, vent chaud et sec soufflant des Rocheuses, qui favorise l'érosion pendant les mois d'hiver. Aucune donnée ne permet d'estimer les pertes totales en sol, par l'érosion, au plus fort de la période de sécheresse des années 30. Mais on sait que la couche arable a été entièrement enlevée dans certaines régions, ce qui représente une perte d'environ 2 000 t/ha. Le programme des pâturages communautaires instauré par la Loi sur le rétablissement agricole des Prairies, visait la remise en état de la partie la plus touchée, soit une étendue de 800 000 ha (Anderson, 1975).

Selon des estimations faites en 1960, l'érosion - presque uniquement éolienne - a touché de modérément à gravement environ un million d'hectares et 2,7 millions d'hectares supplémentaires plus légèrement en Saskatchewan et en Alberta (Johnson, 1961). Au Manitoba, le vent ou l'eau, ou les deux éléments à la fois, auraient érodé un million d'hectares de modérément à gravement et 1,5 million d'hectares supplémentaires de légèrement à modérément. Çà et là dans la vallée de la Rivière Rouge, l'érosion éolienne a attaqué le sol à un point tel qu'en travaillant le sol, les agriculteurs ont ramené en surface des matériaux moins riches provenant du sous-sol (Jenkins, 1968). Environ 20 % des terres agricoles amendées des provinces des Prairies semblent donc avoir subi l'attaque du vent.

CARTE 1.

Risque relatif d'érosion éolienne



Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.
Reproduit de: Coote *et al.*, 1982.

En règle générale, les années qui ont suivi le point culminant de la sécheresse des années 30 ont été moins rigoureuses à ce chapitre, si bien que les agriculteurs ont relâché la lutte contre l'érosion éolienne. Le problème n'a pas manqué de refaire surface ces dernières années (Toogood, 1977), et de façon particulièrement intense aux printemps de 1976 et de 1981.

Dans les régions moins arides des Prairies, les précipitations sont un peu plus importantes, les vents moins forts, la culture continue et la culture fourragère sont plus extensives (c.-à-d. qu'il y a moins de jachères d'été) et la végétation (arbres et arbustes), plus variée, fait obstacle au vent. L'érosion éolienne y fait donc moins de ravages.

Les terres irriguées, situées dans la zone de risque élevé près de Lethbridge en Alberta, subissent également les affres de l'érosion éolienne en hiver. Après la récolte et au printemps, les champs irrigués pour la culture du maïs, de la pomme de terre et de la betterave à sucre sont très vulnérables, à moins d'être recouverts d'une couche de débris végétaux suffisamment épaisse.

Dans la région de la Cordillère, le vent ne semble pas causer de grands ravages. Toutefois, vu leur origine éolienne, certains sols du plateau intérieur sont sensibles à ce type d'érosion, qui peut également se manifester dans les sables alluviaux pro-glaciaires et les limons lacustres desséchés et exposés. La culture intensive de sols de ce type dans les vallées du sud de la Colombie-Britanique a entraîné une érosion éolienne intermittente et parfois même la formation de dunes.

Tendances

Nombre de tendances observées en égard à l'érosion hydrique valent également pour l'érosion éolienne. Dans les Prairies, le travail minimum de la terre et la culture de plantes à chaume tendent à réduire le risque d'érosion éolienne, tandis que dans l'Est, l'agrandissement des champs, l'enlèvement des clôtures et des haies et l'intensification de la monoculture commerciale on l'effet contraire. Un exemple de cette tendance est l'utilisation actuelle pour la culture du maïs et du soja de terres employées antérieurement pour la culture du foin et de petites céréales dans l'est de l'Ontario. Un autre exemple plus directement lié à l'érosion éolienne est celui de certains sols sableux du sud de cette province employés pour la culture du maïs, alors qu'auparavant ils étaient plantés de tabac. Cette dernière culture fait couramment appel à l'emploi du seigle comme plante protectrice en hiver et à de grandes quantités de fumier, sans compter les brise-vent, qui sont également très utilisés. Sur les terres marginales qui ont changé de vocation — de la culture du tabac à celle du maïs — le sol, moins protégé en hiver, est plus exposé à l'érosion éolienne.

Il est difficile de prévoir les tendances de l'érosion éolienne dans les régions qui ont le plus souffert de cette plaie car une grande inconnue demeure, à savoir la possibilité que le climat sec persiste. Cela perpétuerait inévitablement le cercle vicieux: prolifération des jachères estivales, diminution des rendements et augmentation de l'érosion éolienne. Les jachères estivales resteront probablement toujours un mal nécessaire dans une partie des régions les plus sèches, si la culture des céréales et des graines oléagineuses doit s'y poursuivre. Toutefois, certains agriculteurs des régions caractérisées par des sols plus humides (sols noir et brun foncé) ont pu réduire l'étendue des jachères d'été par l'utilisation maximale de la neige (qui permet de réduire l'ablation du manteau nival dans les fossés, les bourbiers et près des brise-vent, pour maintenir l'humidité du sol), l'emploi d'une plus grande quantité d'engrais et la découverte de meilleurs débouchés pour leur production. Mais cela ne pourra se perpétuer que si les conditions météorologiques demeurent raisonnablement favorables. Si les agriculteurs subissent une série d'années très sèches, le recours aux jachères estivales sera encore leur meilleure «police d'assurance».

Quelques cas d'érosion éolienne dans les Prairies

Il est presque impossible de mesurer l'importance de l'érosion éolienne et il faut généralement avoir recours aux observations visuelles pour déceler le problème. Quelques cas découverts récemment sont décrits ci-après.

Au printemps de 1981, les terres des Prairies ont subi une très forte érosion éolienne, en particulier la région comprise entre Calgary, en Alberta, jusq'au nord de Saskatoon, en Saskatchewan, et à l'est de Brandon, au Manitoba. La terre et les plantes balayées par les vents remplissaient et bouchaient les fossés le long des routes. Dans la partie Ouest de cette région, où les terres sont alternativement cultivées en petites céréales, en graines oléagineuses puis mises en jachères, c'est dans les jachères, soit le milieu le plus touché, que les sols éoliens prenaient forme. La photo 3 montre comment le vent a accumulé la terre le long d'une clôture dans le sud de la Saskatchewan et comment l'érosion a nui aux cultures dans le champ situé derrière la clôture. Cela c'est produit au printemps de 1981, l'année qui a suivi la mise en jachère du champ; la récolte a presque été un échec total.

Toujours au printemps de 1981, plus à l'est, dans le sud-ouest du Manitoba, on a semé du maïs dans un vaste champ caractérisé par un sol deltaïque et sableux à grain fin. Lorsque le sol superficiel s'est desséché, le sable fin a commencé à donner prise au vent, si bien que les pousses ont presque toute été détruites (photo 4). Ceci est un exemple de l'utilisation d'un sol très sensible à l'érosion éolienne pour une culture qui n'offre qu'une protection inadéquate dans ses premiers stades de croissance à cause d'une pousse très lente, en rangs très espacés. Si le temps avait été plus humide, le maïs aurait pu atteindre une taille suffisante pour assurer la protection du sol. Mais le résultat confirme que l'opération avait plus de chance de mener au désastre. De ces événements, il faut tirer la

Photo 3. Sur cette photo, prise dans le sud de la Saskatchewan, le sol du champ au-delà de la clôture a glissé jusqu'à celle-ci. La productivité est réduite de façon permanente lorsqu'une érosion éolienne comme celle-ci persiste.
D.R. Cooke, Agriculture Canada

leçon suivante: pour assurer la meilleure protection possible à des sols de ce genre, il faut éviter totalement la culture des plantes sarclées et cultiver plutôt des plantes fourragères, qui sont pratiquement insensibles à l'érosion éolienne, ou espacer les rangs selon les pratiques recommandées pour la culture en bandes et recouvrir les sols d'une couche suffisante de résidus.

En 1982, année pendant laquelle l'érosion éolienne a fait relativement peu de ravages, Jenkins (1982) a réussi à mesurer la quantité de matériaux accumulée dans un fossé longeant un champ du sud du Manitoba, ensemencé la veille d'une journée fort venteuse. D'après les calculs, 4 000 m^3 de sol avaient été enlevés d'une surface de 32 ha, ce qui correspond à une perte d'environ 160 t/ha. Bien que cela ne comprenne pas la poussière fine balayée au-delà du fossé, la quantité mesurée était quand même plus de 14 fois plus élevée que les pertes annuelles considérées comme «tolérables» par les spécialistes de la conservation des sols.

Les pédologues du Manitoba utilisent ces données pour montrer aux agriculteurs à quel point l'érosion éolienne, même minime, peut être désastreuse et pour les encourager à employer des méthodes susceptibles de réduire les dégâts.

Pertes de matières organiques

Processus

Dès qu'ils sont défrichés, labourés et travaillés, les sols commencent à perdre une partie des matières organiques qu'ils contiennent. Et le principal processus à l'origine de ces pertes est l'aération, qui accélère le déplacement des micro-organismes contenus dans le sol. L'oxydation micro-biologique accrue du carbone en dioxyde de carbone fait perdre au sol ses fractions organiques les plus facilement décomposées. Elle entraîne aussi le dégagement de nutriments minéraux, surtout de l'azote, qui sont absorbés par les plantes cultivées ou emportés par le ruissellement des surplus d'eau. En outre, sur les terres déboisées, de grandes quantités de matières organiques — arbres, racines et feuilles — sont brûlées avant la mise en culture. L'érosion entraîne également d'importantes pertes de matières organiques.

La présence dans le sol de matières et d'azote organiques est le fruit de l'équilibre entre les apports par les débris végétaux et les pertes résultant de l'oxydation (Martel et Paul, 1974). Elle varie selon le type et la fréquence des cultures, les méthodes de gestion des résidus, d'épandage d'engrais et de fumier, et le climat. Donc, quel que soit l'endroit, à chaque programme d'assolement et de gestion devrait correspondre une teneur caractéristique en azote organique, selon le type de sol et les conditions atmosphériques en présence. Mais l'équilibre de la teneur en matières organiques, bien qu'il soit presque toujours inférieur à celui qui caractérisait le sol originel, dépend de la teneur en azote de ce dernier. La figure 1 montre comment la teneur en azote a diminué, dans des parcelles de recherche de l'Alberta, selon différentes méthodes de culture (Freyman *et al.*, 1982). Elle montre également que dans ces parcelles, la quantité totale de matières organiques (carbone organique) est presque revenue aux valeurs originelles, probablement parce que de la paille a été retournée dans le sol et que certaines pratiques de labour on été remplacées par l'emploi d'herbicides. Les données qui figuren. au tableau 2 inclinent à penser que, dans l'est du Canada, la culture intensive fait diminuer la teneur en azote et en matières organiques des sols.

La vitesse d'oxydation varie selon les types de sol ainsi que les méthodes et la période de culture. Des recherches effectuées sur de nombreuses années révèlent que c'est au cours des 5 ou 6 premières années d'exploitation d'un sol que les pertes en azote et en carbone organiques sont les plus rapides, tandis que d'autres études montrent que la vitesse d'oxydation ne change guère avec le temps.

Le surpâturage et le brûlage des terres influent également sur les pertes en matières organiques. Une étude effectuée dans des pacages montre que le surpâturage modifie le microclimat des sols pour le rendre plus sec; en d'autres termes, un sol noir peut prendre la coloration, le pH, le degré d'humidité, la température et la teneur en matières organiques caractéristiques d'un sol brun foncé (Johnston *et al.*, 1971). Ce phénomène n'est cependant pas universel, car d'autres études ont montré que la teneur en matières organiques du sol de certains pâturages des Prairies augmente même lorsque ceux-ci sont très exploités (Smoliak *et al.*, 1972). Les agriculteurs de certaines parties des Prairies brûlent encore de la paille et des chaumes, surtout pour faciliter le travail du sol et le réchauffer plus tôt au printemps. On ne sait pas si cela pourra se faire encore bien longtemps sans que la structure des sols en souffre.

La culture intensive de certains sols irrigués entraîne également des pertes de matières organiques. Toutefois, l'incorporation à la terre de résidus de récolte, comme les tiges et les feuilles de maïs et les fanes de betteraves à sucre, et l'utilisation de fumier, dans toute la mesure du possible, peuvent permettre d'endiguer et même de réduire les pertes (Dubetz *et al.*, 1975).

La teneur en matières organiques est un des principaux facteurs favorables au maintien de la structure des sols minéraux; si elle diminue, la structure de sols s'en ressent et ceux-ci deviennent plus sensibles à l'érosion hydrique et éolienne, et au tassement. En outre, les matières organiques sont une importante source d'azote et de micronutriments pour les sols et augmentent leur capacité capillaire et la rétention des nutriments.

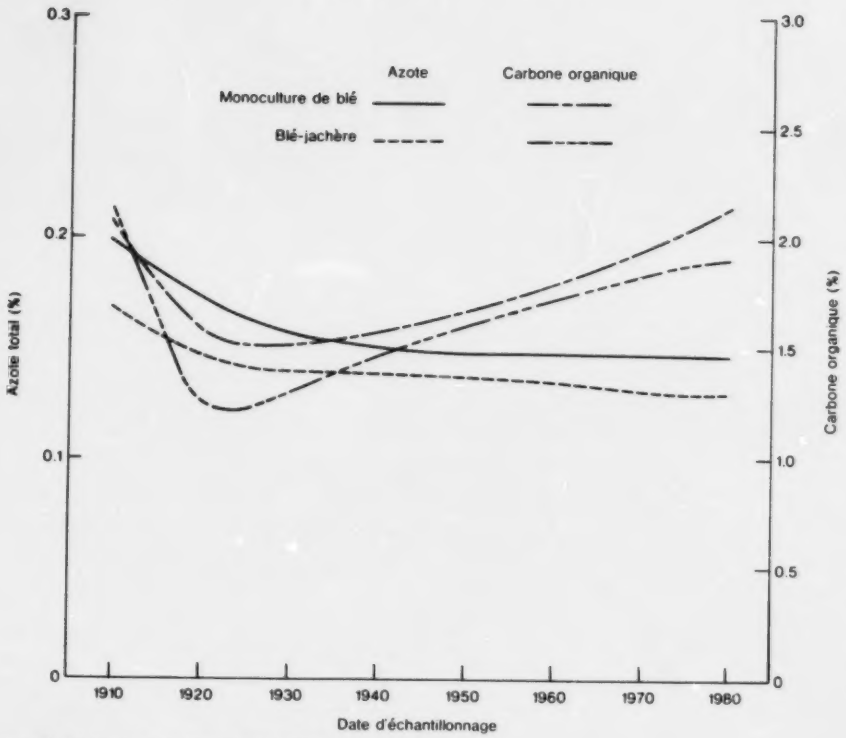
Régions touchées et importance du phénomène

Les pertes en matières organiques dans les sols cultivés semblent toucher tout le Canada. Elles varient cependant selon la teneur intitiale en matières organiques des sols et les effets des différentes pratiques culturales.

Photo 4. Ces jeunes plants de maïs du sud du Manitoba ont été gravement endommagés par l'action abrasive du sable soufflé par le vent. Les grands champs ouverts sont sans protection contre le balayage du sol.
D.R. Coote, Agriculture Canada

FIGURE 1.

Teneurs du sol en matières organiques et en azote à Lethbridge (Alberta) dans les terres à monoculture de blé et à rotation blé-jachère sur une période de 70 ans



D'après les données de Freyman *et al.*, 1982.

TABLEAU 2.

Teneurs en matières organiques des sols superficiels en Ontario et au Québec, et d'azote dans les sols du Québec, sous l'influence des pratiques agricoles

Type de sol	Non perturbé	Herbage permanent	Rotation	Monoculture du maïs	Référence
			Pourcentage de matières organiques (nombre d'années)		
Ontario					
Limon argileux	—	8,1 (50)	4,9 (5)+	3,7 (5)	Bolton et Webber, 1952
Argile	7,6	4,5 (8)	4,9 (8)++	4,0 (8)	Webber, 1961
Limon	6,5	4,4 (10)	4,1 (10)++	3,1 (10)	Webber, 1964
			Pourcentage de matières organiques/pourcentage d'azote (nombre d'années)		
Québec					
Limon argileux	11,4/0,28	6,5/0,30 (25)	6,3/0,23 (30)+++	—	Martel et Deschênes, 1976
Argile	—	—	6,3/0,25 (10)+++	4,1/0,17 (8)	Martel et MacKenzie, 1980
Limon sableux	7,3/0,20	—	6,3/0,22 (30)+++	—	Martel et Deschênes, 1976

\+ Maïs–maïs–avoine–foin–foin.
++ Maïs–avoine–foin–foin.
+++ Céréales–foin–foin–foin.

Les matières organiques ont tendance à être passablement abondantes dans les sols naturels des Prairies. Elles ont une proportion de 5 à 10, même parfois de 15 %, dans les sols noirs chernozémiques et de 3 à 7 % dans les sols brun et brun foncé. Une fois que les sols sont cultivés, les matières organiques se minéralisent et dégagent de l'azote et d'autres nutriments qui peuvent être absorbés par les plantes. Depuis que les sols des Prairies ont commencé à être mis en culture, au début du siècle, ils auraient perdu en moyenne 45 % des matières organiques qu'ils contenaient, soit environ 700 millions de tonnes (McGill *et al.*, 1981). Ces pertes élevées sont dues en grande partie au fait que les terres ont été mises en jachère. Lorsque les précipitations sont suffisamment importantes, la culture continue de petites céréales permet aux sols de conserver plus de matières organiques que la culture en rotation avec jachère (voir figure 1). La culture en rotation avec des plantes fourragères ou l'utilisation de fumier peut réduire et même empêcher les pertes nettes en matières organiques.

Dans les régions du Canada où le climat est plus humide, on observe également des pertes de matières organiques dues au travail fréquent, et souvent excessif, des sols. Plusieurs études faites au Québec et en Ontario ont révélé que les quantités de matières organiques étaient plus élevées dans les sols non exploités, moins élevées dans les sols soumis à une monoculture de foin et à la culture en rotation de foin et de maïs ou de céréales, et faibles dans les sols toujours plantés de maïs. Des diminutions d'au moins 50 % ont été observées (Webber, 1961 et 1964; Martel et MacKenzie, 1980). D'autres études ont montré que la teneur en matières organiques se stabilise à une valeur plus élevée par l'addition de fumier, ou d'autres substances organiques, au sol (Sowden et Atkinson, 1968).

Les pertes de matières organiques s'accompagnent souvent d'une diminution du degré d'agrégation du sol, comme le montrent les analyses des dimensions et de la résistance des agrégats stables à l'eau. Le degré d'agrégation du sol est fonction directe de la résistance du sol à l'érosion et au tassement. Au cours d'études effectuées sur différents sols du sud de l'Ontario (Ketcheson, 1980), on a observé des diminutions de 40 à 60 % des indices d'agrégats stables à l'eau dans des sols soumis à une monoculture de maïs par rapport à ceux observés dans des sols soumis à une succession de cultures sur 4 ans (maïs, avoine, foin, foin). L'un de ces sols, qui avait été couvert de gazon pendant 50 ans, contenait 60 % de plus d'agrégats stables à l'eau que ceux qui avaient été soumis à l'assolement (Bolton et Webber, 1952). Dans le sud du Québec, la teneur en agrégats stables à l'eau, observées dans trois sols cultivés alternativement en céréales et en plantes fourragères, variait entre le cinquième et la moitié de cette teneur dans les mêmes types de sols non cultivés (Martel et Deschênes, 1976). Toujours au Québec, les

quantités d'agrégats secs et d'agrégats stables à l'eau dans un loam argileux et un loam sableux, couverts de gazon pendant 25 ans, ont connu une augmentation impressionnante en fonction du temps. Dans le loam argileux, une section continuellement plantée de maïs avait une teneur en agrégats stables à l'eau inférieure d'un ordre de grandeur à celle d'une autre partie soumise à la rotation des cultures sur 5 ans (Martel et MacKenzie, 1980).

Des résultats similaires ont été obtenus dans les provinces de l'Atlantique, bien que les sols de cette région semblent contenir moins de matières organiques naturelles qu'ailleurs. Dans l'Île-du-Prince-Édouard, le travail intensif du sol, surtout pour la culture du maïs, du tabac et de la pomme de terre, allié à une forte érosion, a entraîné une telle diminution des quantités de matières organiques qu'il faut s'attendre à une détérioration prochaine considérable de la structure des sols, qui aura comme conséquences la baisse des rendements et l'augmentation du ruissellement et de l'érosion (Veinot, 1978). Des études effectuées au Nouveau-Brunswick portent à croire que la situation y serait semblable à celle observée dans le Maine (É.-U.): diminution de la teneur en matières organiques et du degré d'agrégation des sols et augmentation du ruissellement et de l'érosion résultant de la culture intensive de la pomme de terre (Saini et Grant, 1980).

Il existe très peu de données sur les pertes en matières organiques des sols de la Colombie-Britannique. Le travail intensif de la terre est pratique courante dans la partie inférieure de la vallée du Fraser ainsi que dans les vallées de l'Okanagan, de la Kootenay et d'autres rivières de la partie méridionale de la province où des légumes, du maïs, du raisin et d'autres fruits sont régulièrement cultivés. Il est plus que probable que ce genre d'exploitation entraîne la perte de matières organiques, tout comme le surpâturage des pacages arides de l'intérieur.

Tendances

Habituellement, c'est quand ils sont cultivés pour la première fois que les sols perdent le plus rapidement leurs matières organiques. Par la suite, les pertes sont souvent moins rapides au fur et à mesure que les facteurs type de sol, climat et pratiques culturales tendent à l'équilibre. Pourtant, des données relevées dans les provinces des Prairies montrent que les pertes en matières organiques persistent, même si cet équilibre est sur le point d'être atteint (McGill *et al.*, 1981). Les sols soumis à une culture plus intensive et productive ont tendance à avoir une plus grande teneur en matières organiques que ceux qui sont mis en jachère. L'intensification de la culture de plantes à chaume (c.-à-d. avec moins de jachères), qui a déjà commencé en Alberta et au Manitoba, devrait donc entraîner l'augmentation des quantités de matières organiques dans les sols des Prairies. Et cette tendance se poursuivra probablement puisque les exportations de céréales sont appelées à augmenter.

Au fur et à mesure que la monoculture en lignes (maïs, soja, pomme de terre) et d'autres cultures intensives comparables se généraliseront dans l'est du Canada, les concentrations de matières organiques continueront de chuter dans la plupart des terres exploitées avant d'atteindre un nouvel équilibre. On peut supposer, avec la tendance actuelle à la réduction de la polyculture et donc de l'élevage du bétail et de la rotation des cultures de foin et de petites céréales, qu'une grande partie des terres vouées maintenant à la monoculture en lignes ont précédemment donné du foin et ont donc été engraissées au fumier. Les concentrations de matières organiques devaient donc être passablement élevées lorsque le changement de vocation des terres s'est produit, mais il est à prévoir que lorsqu'un nouvel équilibre sera atteint, ces valeurs seront vraisemblablement inférieures à celles des 50 dernières années.

Exemple de dégradation du sol au Manitoba

Sur le plan des pertes de substances organiques du sol, les recherches effectuées à l'université du Manitoba fournissent des exemples fort utiles des différences qui résultent de la mise en oeuvre de systèmes de culture en rotation. Dans leur rapport, Ridley et Hedlin (1968) présentent les caractéristiques d'un sol noir chernozémique soumis à une gamme d'intensités de culture et à différents intervalles de mise en jachère pendant 37 années.

D'après l'étude, dans tous les cas, la rotation des cultures ainsi que l'épandage d'engrais ont entraîné une réduction de la teneur en substances organiques qui était d'environ 10 % au début de l'expérience. Toutefois, les chercheurs n'ont pas procédé à la culture continue de graminées, ce qui aurait sans doute permis de déterminer si une récolte présentant des conditions très similaires à celles de la prairie naturelle aurait permis de maintenir la teneur initiale en substances organiques. Néanmoins, après 37 années, la concentration maximale de matières organiques atteignait 7,6 % dans les zones de culture continue du blé soumises à une fertilisation de l'ordre de 8,9 tonnes de fumier/ha/an. Même en l'absence de fumier, les zones de culture continue du blé se composaient de matières organiques dans une proportion de 7,2 %, à savoir un plus fort pourcentage que pour tout autre type de traitement. La teneur minimale en substances organiques (3,7 %) a été relevée dans les systèmes de culture en rotation blé-jachère d'été, où l'épandage de fumier n'a entraîné qu'une légère augmentation (4,1 %) des concentrations de substances organiques. Les zones de culture continue d'avoine et d'orge ont maintenu une teneur en substances organiques équivalente à celle des zones de culture continue du blé, soit respectivement de 6,8 et 6,3 %. L'ensemencement de la luzerne ou des graminées au cours de l'année antérieure à la mise en jachère estivale d'un système de culture en rotation jachère-culture continue de blé pendant 3 ans ainsi que l'épandage d'engrais verts à la suite du labourage au cours du printemps ultérieur ont provoqué une augmentation considérable de la teneur en substances organiques (5,8 % dans les terres cultivées avec la luzerne, 6,3 % dans les terres cultivées avec des graminées) en comparaison de la pratique plus courante de mise en jachère estivale selon la même séquence de rotation (4,7 %).

Le rendement des cultures de céréales était plus élevé au cours des années suivant la mise en jachère, sans doute en raison de la présence de substances nutritives minéralisées due à la réduction des réserves de matières organiques du sol ainsi que des réserves supplémentaires d'humidité emmagasinées dans le sol mis en jachère au cours de l'été. Cependant, selon Ridley et Hedlin (1968), pendant l'ensemble de la période de culture, les zones de culture continue ont eu un rendement total beaucoup plus élevé que celles qui ont été mises en jachère au cours de certaines années, même sans l'épandage de fumier ou d'engrais.

Au cours de l'étude, les terres ont été soumises à une culture continue de maïs, ce qui constitue une pratique plus courante dans l'est du Canada. Au bout de 37 ans, le sol se composait de matières organiques dans une proportion de 5 %, à savoir un pourcentage plus élevé que celui des systèmes de culture comportant des mises en jachère estivales, bien qu'il soit inférieur aux valeurs relevées dans les systèmes sans mise en jachère estivale. La teneur en substances organiques du sol avait donc subi une baisse de 50 % au cours des 37 années, ce qui constitue une perte comparable à la réduction des substances organiques dans les zones de culture continue de maïs de l'est du Canada.

Il est évident que les systèmes de culture où les sols sont laissés à nu et où les conditions d'aération sont favorables au cours de périodes prolongées entraînent des réductions plus marquées de la teneur en substances organiques. Compte tenu de la faible teneur en matières organiques, la capacité d'emmagasinage des substances nutritives, la résistance à l'érosion et la stabilité de la structure pédologique sont réduites par rapport aux systèmes de culture en rotation de graminées ou de céréales. La régénération des sols est un processus qui s'étend sur de nombreuses années. Avant que des modifications appropriées soient apportées aux pratiques culturales, la dégradation du sol risque d'être irrémédiable.

Affaissement des sols organiques

Processus

Les sols organiques (sols tourbeux) sont formés de matériaux provenant des résidus de plantes

mortes ou en décomposition. Ces sols caractérisent les fondrières et les marais où les eaux demeurent stagnantes toute l'année et où les sédiments présentent de faibles concentrations d'oxygène. Les résidus de plantes et d'animaux se déposent sur le fond où ils se décomposent très lentement en raison des conditions d'anaérobie. Étant donné que le taux d'accumulation est supérieur au taux de décomposition, il y a formation d'un sol organique.

Le phénomène opposé se manifeste si les conditions subissent des modifications marquées dues au drainage ou au labourage du sol à des fins d'utilisation agricole. Il y a alors aération du sol et accroissement du taux de décomposition ainsi qu'une diminution de la capacité de réapprovisionnement. En outre, la réduction de la capacité de sustentation, les contractions dues au drainage ainsi que le tassement entraîné par le passage des véhicules provoquent une réduction du volume total du matériau. Tous ces facteurs sont à l'origine de «l'affaissement» du sol. Dans de nombreux cas, les sols organiques sont également très vulnérables à l'érosion éolienne et hydrique. En l'absence d'humidité, le sol est très léger et peut être facilement emporté par le vent s'il n'est pas protégé par une récolte, des résidus ou des brise-vent. Le ruissellement et un drainage insuffisant du sol peuvent également entraîner les matières organiques dans les canaux d'évacuation.

Il est possible de réduire la perte des sols organiques en maintenant, dans la mesure du possible, la nappe phréatique à son niveau maximal et en soumettant les terres à une irrigation par inondation au cours des mois d'hiver. À cette fin, il faut aménager des systèmes de drainage relativement coûteux et perfectionnés dotés habituellement de pompes pour modifier le niveau de la nappe phréatique. Selon des recherches récentes, il est possible de réduire le taux d'affaissement du sol par la restriction des activités bactériennes et enzymatiques qui favorisent l'oxydation. Au cours des études effectuées à Terre-Neuve et au Québec, les chercheurs ont déterminé que le cuivre qui, à l'origine, était utilisé comme additif dans les engrais en vue de remédier aux carences de certains sols organiques, a pour effet de réduire l'oxydation du carbone et, par conséquent, de ralentir le processus d'affaissement (Mathur *et al.*, 1979). Des recherches supplémentaires se poursuivent actuellement pour étudier dans quelle mesure il serait pratique d'épandre du cuivre sur les sols organiques en vue de réduire le taux d'affaissement dû à l'oxydation biochimique.

Selon le type de labourage, les conditions d'humidité et le type de sol organique, le taux d'affaissement total est généralement élevé au cours des premières années qui suivent le drainage et diminue par la suite. Dans certains cas, les pertes sont dues à des incendies délibérés ou accidentels.

Régions touchées et importance du phénomène

D'après les estimations, la superficie des sols organiques au Canada atteint au moins 90 million d'hectares (Clayton *et al.*, 1977). Toutefois, seule une très petite partie des terres jouissent d'un climat propice à l'agriculture. Les zones où le sol organique présente des conditions assez favorables à la décomposition et des concentrations de substances nutritives suffisantes et où le climat est propice sont habituellement consacrées à la culture des récoltes à forte valeur commerciale comme les oignons, les carottes, la laitue et d'autres légumes (photo 5). Ces légumes sont principalement cultivés au Québec, au sud et à l'est de Montréal (environ 7 000 ha, dont 90 % se trouvent dans la région directement au sud de Montréal), en Ontario, au nord de Toronto (environ 3 300 ha) et dans le sud-ouest de la province, près du lac Érié (environ 2 200 ha) ainsi que dans la partie inférieure de la vallée du Fraser, en Colombie-Britannique (environ 1 800 ha). Les provinces de l'Atlantique, l'est de l'Ontario, la zone qui s'étend depuis le sud du Manitoba jusqu'aux limites nord et est de sols dominés par les graminées des prairies et la partie inférieure du continent ainsi que l'intérieur de la Colombie-Britannique comptent également de très petites zones de sol organique où s'effectue la culture maraîchère ainsi que des régions plus vastes soumises à la culture du foin et à la culture de plein champ. Il n'existe aucune donnée sur la superficie précise de ces dépôts organiques.

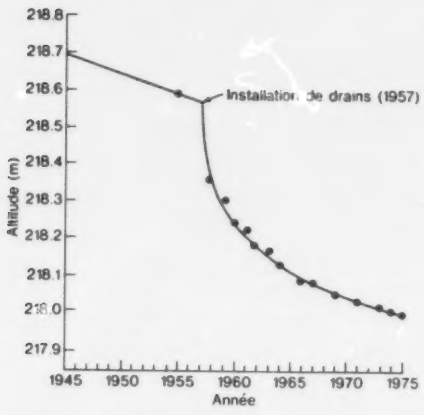
Tous les sols organiques cultivés ont été asséchés et sont en état d'affaissement en raison des phénomènes d'oxydation, de contraction et d'entassement. Au Québec, l'on estime que l'affaissement d'une zone de sol organique soumise à la culture maraîchère atteignait 2,1 cm par an au cours des 38 premières années d'exploitation. Selon les prévisions qui se fondent sur ces estimations, ces terres deviendront impropres à toute culture au bout de 44 années (Millette, 1976). Bien que la durée d'utilisation du sol risque d'être prolongée compte tenu du fait que le taux d'affaissement est plus élevé au cours de la première ou de la deuxième année suivant l'assèchement, il est intéressant de noter que certains spécialistes agricoles ont obtenu à peu près les mêmes estimations en ce qui concerne le marais Holland en Ontario.

De 1959 à 1962, les taux d'affaissement post-drainage ont été évalués à environ 3,3 cm par an dans le marais Holland, où, en 1957, des améliorations ont été apportées au système de drainage et aux pompes (Irwin, 1977). De 1967 à 1976, l'affaissement a été évalué à environ 1,1 cm par an, à savoir un taux identique à la valeur estimée avant l'amélioration du système de drainage. La figure 2 présente le relief du sol organique de 1945 à 1975. L'amélioration du système de drainage a entraîné une augmentation marquée du taux d'affaissement, lequel s'est stablisé après environ 10 ans au taux évalué avant les travaux d'amélioration. En 1958, soit l'année suivant la modification des installations de drainage, l'affaissement du sol a atteint au moins 20 cm.

Aucune estimation du taux d'affaissement n'a été effectuée en ce qui concerne les sols organiques des autres régions du Canada. L'on soupçonne que les taux risquent d'être plus élevés pour les sols organiques cultivés de la partie inférieure de la vallée du Fraser et de l'île de Vancouver, en Colombie-Britannique, étant donné que les sols de ces régions ne sont soumis

Photo 5. Ce sol organique productif est utilisé de façon intensive dans le sud-ouest de l'Ontario pour la culture de légumes, comme les radis sur cette photo. Sans brise-vent, ces grands champs plats sont vulnérables à l'érosion éolienne lorqu'ils ne sont pas protégés par une culture.
Agriculture Canada

FIGURE 2.
Affaissement observé de sols organiques à Holland Marsh (Ontario)



Reproduit de Irwin, 1976 (avec la permission de l'auteur)

à aucune période prolongée de gel. Dans les autres régions du Canada, les longues périodes de gel qui caractérisent les sols organiques ralentissent la décomposition du matériau du sol.

Dans de nombreuses régions du Canada, des zones relativement petites de sols organiques sont encore défrichées pour être cultivées. Toutefois, dans certains cas, les matières organiques ne sont pas utiles et sont brûlées en vue d'exposer le sol minéral sous-jacent. Cette opération est devenue pratique courante dans l'est du Manitoba (Michalski, 1977). Dans les zones de culture de céréales ou de foin, les cultivateurs jugent les substances organiques nuisibles étant donné qu'elles entraînent des problèmes de déplacement et l'immobilisation des substances nutritives.

Tendances

Les sols organiques sont actuellement exploités dans toutes les régions du Canada. L'entretien et la régulation appropriés des nappes phréatiques constituent des facteurs capitaux en ce qui concerne la prolongation de la durée d'utilisation de digues, de fossés et de sytèmes de drainage et de pompes coûteux et minutieusement conçus, donc des installations rarement disponibles. En général, les cultivateurs soumettent les terres à un drainage intensif. Par la suite, des pompes peuvent être utilisées pour saturer de nouveau les sols de façon efficace, opération qui présente l'avantage de réduire les taux d'affaissement et d'oxydation.

Actuellement, peu d'initiatives on été prises en vue d'améliorer la régulation de la nappe phréatique dans les sols organiques. Toutefois, à l'avenir, l'utilisation d'inhibiteurs chimiques comme le cuivre, en vue de réduire l'activité enzymatique et l'oxydation, permettra sans doute de réduire la perte des sols organiques.

Dans certains cas, les sols organiques exploités pendant de nombreuses années ou dont la couche initiale était peu épaisse sont devenus si minces, qu'au cours des opérations de labourage, le sol minéral sous-jacent se mêle à la couche de substances organiques. En général, ces zones sont utilisées pour les cultures de plein champ comme le maïs. Au fur et à mesure que les sols organiques soumis à la culture maraîchère subissent de telles pertes, ils seront également sans doute utilisés à des fins de culture de plein champ. Les sols les plus propices à la culture maraîchère auront donc été perdus. Dans les zones où le climat est favorable à cette culture, il ne reste plus que des superficies très limitées de nouveaux sols organiques non-exploités. L'utilisation de sols moins appropriés entraînera l'augmentation des coûts et la diminution du rendement et de la qualité des récoltes, et il faudra alors augmenter les importations en vue de satisfaire aux besoins alimentaires de base des Canadiens.

Exemple de dégradation au Québec

Dans le sud-ouest du Québec, la culture maraîchère est effectuée sur de vastes superficies (environ 6,5 millions d'hectares) de sols organiques. En 1979, dans cette région, la valeur à la ferme des cultures maraîchères a atteint une somme estimative d'environ 17 millions de dollars, ce qui représentait 36 % de la production totale de légumes au Québec (Bureau de la statistique du Québec, 1980). Les chercheurs de la station de recherche d'Agriculture Canada à Saint-Jean, Québec (qui est située sur cette vaste région de sols organiques), ont procédé à la surveillance du relief des sols organiques drainés en vue d'évaluer les pertes ainsi que le taux d'affaissement (Millette, 1976; Millette *et al.*, 1980).

Les chercheurs ont établi une comparaison entre les résultats des études topographiques effectuées en 1974 et 1978 et ceux d'une étude topographique datant de 1936. Les pertes de l'épaisseur de la couche variaient d'un champ à l'autre, selon les types de culture et de gestion des eaux. D'après les mesures, une zone qui, en 1938, comportait une couche relativement uniforme de 30 cm d'épaisseur de sols organiques bien décomposés recouvrant une couche de tourbe de sphaigne présentait, en 1974, des épaisseurs variant entre 20 et 46 cm selon le type de culture utilisé. De 1936 à 1946, cette zone était constituée d'une prairie de fauche soumise à différentes cultures en rotation de carottes, de laitue, d'oignons, de céléri et de pommes de terre. Des rideaux d'arbres ont été plantés en périphérie de la zone en vue de protéger les terres contre l'érosion éolienne. En 1937, des drains en bois ont été installés à des intervalles de 38 m, et l'eau de drainage était recueillie dans une rigole d'une profondeur de 60 cm posée autour de la zone. En 1972, des drains de terre cuite supplémentaires ont également été installés dans ces champs. Depuis 1951, l'eau d'irrigation est utilisée pour maintenir un niveau relativement constant de la nappe phréatique ainsi que pour éviter le drainage excessif du sol. Au cours de la période de 1936 à 1974, ces terres ont subi un affaissement moyen d'environ 79 cm, soit de 2,1 cm par an.

De 1974 à 1978, les chercheurs ont procédé à des mesures plus précises de la perte des sols dans cette région. Par exemple, dans les deux champs soumis à la culture de l'avoine, l'affaissement est passé de 1,4 cm par an à 0 et le taux d'accumulation était d'environ 0,1 cm par an. Dans trois autres champs, l'érosion due au ruissellement des zones adjacentes a provoqué l'augmentation du taux moyen d'affaissement, soit plus de 4,4 cm par an.

D'après une autre étude des sols organiques de 6 exploitations de production de la même région effectuée par Millette *et al.*, (1982), l'affaissement variait de 1,0 à 7,0 cm par an. Les taux d'affaissement maximal et minimal ont été relevés dans des champs soumis à un drainage souterrain où avaient été installés des régulateurs de sortie d'eau et qui avaient été utilisés pour la culture maraîchère intensive (principalement les carottes) pendant plus de 20 ans. Dans les zones voisines boisées non drainées comportant les mêmes types de sols, la surface n'avait subi que très peu de modifications, et une augmentation de 1,0 cm par an de la couche de surface a été mesurée sur tous les sites.

Compte tenu de ces observations, diverses mesures ont récemment été prises en vue de réduire la perte de sols organiques dans la région de la station de recherche. Parmi les initiatives mises en oeuvre, mentionnons l'ensemencement de grains d'avoine sur les zones cultivées, l'aménagement d'ouvrages de dérivation du ruissellement pour entraver l'érosion hydrique et l'installation de dispositifs de régulation sur les drains souterrains en vue de maintenir les nappes phréatiques à un niveau élevé. Il est maintenant possible d'éprouver et d'améliorer ces techniques et de préconiser leur utilisation auprès des agriculteurs de la région jusqu'à ce que les chercheurs conçoivent de meilleures techniques de lutte contre l'affaissement. Étant donné que, selon certaines estimations des taux actuels d'affaissement, les sols organiques risquent de ne plus être cultivables d'ici 50 ans, il est évidemment très important de concevoir de meilleures méthodes pour enrayer les pertes.

Dégradation chimique des terres agricoles

Salinisation du sol

Processus

La salinisation est produite par la redistribution des sels des sols arides (provenant de l'altération

du matériau originel du sol) vers la surface, où ils perturbent la croissance normale des racines et l'absorption de l'eau et des substances nutritives par les plantes. En général, cette redistribution est provoquée par le lessivage des sols dans l'eau de drainage des sous-sols en un emplacement précis, ce qui entraîne l'accumulation de sels à la surface du sol (ou près de la surface) où l'eau s'évapore. Le schéma de la figure 3 illustre le processus de salinisation. En certains emplacements comme, par exemple, près des fuites des canaux d'irrigation, le déplacement des sels n'est pas très marqué et ceux-ci peuvent provenir de la couche immédiatement sous-jacente à la région halomorphe. En d'autres emplacements, les sels peuvent être transportés sur de plus longues distances, depuis une zone d'infiltration jusqu'au point d'émergence. Par exemple, les sels peuvent se déplacer depuis une zone à altitude élevée jusqu'à un point d'émergence situé au bas des versants ou dans une vallée.

Le processus de salinisation n'est pas d'origine anthropique et, au cours des années, il a donné naissance aux bas-fonds et aux dépressions salins qui parsèment la plupart des régions de prairies arides. Un processus connexe, qui touche les matériaux originels des sols salins présentant de fortes concentrations de sodium quelquefois associées aux nappes phréatiques dont le niveau est élevé, a entraîné la formation de vastes régions de sols solonetziques en Alberta et en Saskatchewan. Cependant, la salinisation due à la dégradation des terres agricoles est à l'origine des modifications des modèles d'écoulement et du niveau naturels des eaux souterraines, d'où l'accumulation des sels dans les zones non salines ou l'extension de zones salines existantes.

Les perturbations des modèles naturels de déplacement des eaux souterraines peu profondes peuvent résulter de l'aménagement des routes, des chemins de fer, des canaux d'irrigation, des villages ou des villes. Toutefois, compte tenu des perturbations généralisées, la modification du cycle hydrologique, due à la destruction des prairies naturelles pérennes et des dépressions boisées des prairies en vue de l'ensemencement annuel de céréales nécessitant un volume net d'eau moins élevé, constitue sans doute le facteur qui suscite le plus de préoccupation. En outre, sur les terres mises en jachère en été, il y a augmentation de l'infiltration de l'eau inutilisée dans les couches profondes du sol. Les jachères d'été ne retiennent que 25 % environ de l'humidité, le reste étant perdu par voie d'évaporation, de ruissellement et de suintement. Même dans les zones où les jachères d'été sont moins vastes et où l'on pratique la culture continue de blé ou de l'orge, le sol n'absorbe que la moitié ou les deux tiers de la quantité d'eau absorbée par les prairies. La différence est davantage marquée au printemps alors que les récoltes annuelles ne sont pas encore implantées. Toutefois, les récoltes de luzerne présentent une capacité d'absorption de l'humidité encore plus grande que celle des graminées en raison du profond système racinaire de cette plante. Toutefois, l'on peut supposer que sur une vaste superficie des prairies naturelles, la reconstitution des nappes d'eau souterraines est négligeable étant donné que l'infiltration dans les couches profondes du sol est restreinte même si les céréales y sont cultivées en surface (Staple *et al.*, 1960).

Au cours des années, l'écoulement des eaux excédentaires qui transportent les sels dissous présents dans le sous-sol contribue à l'augmentation du niveau des nappes phréatiques – particulièrement à la suite des périodes où la hauteur des précipitations est supérieure à la moyenne. L'augmentation du niveau des nappes phréatiques entraîne la formation de zones où l'eau remonte à la surface sous l'effet de la capillarité et s'évapore, et où les sels sont retenus dans le sol. De nombreuses zones de ce type sont appelées «puits salins» (photo 6).

Henry et Ballantyne (1980) ont identifié quatre types de puits salins des zones sèches.

Puits des versants: zone où la totalité du processus de salinisation s'effectue sur le versant d'une montagne, habituellement à l'endroit où les sols forment des couches de textures différentes et où la roche en place ou bien la couche d'argile sous-jacente entrave le déplacement vertical de l'eau.

Puits des pieds des versants: la zone d'infiltration se situe sur une chaîne de montagnes adjacente.

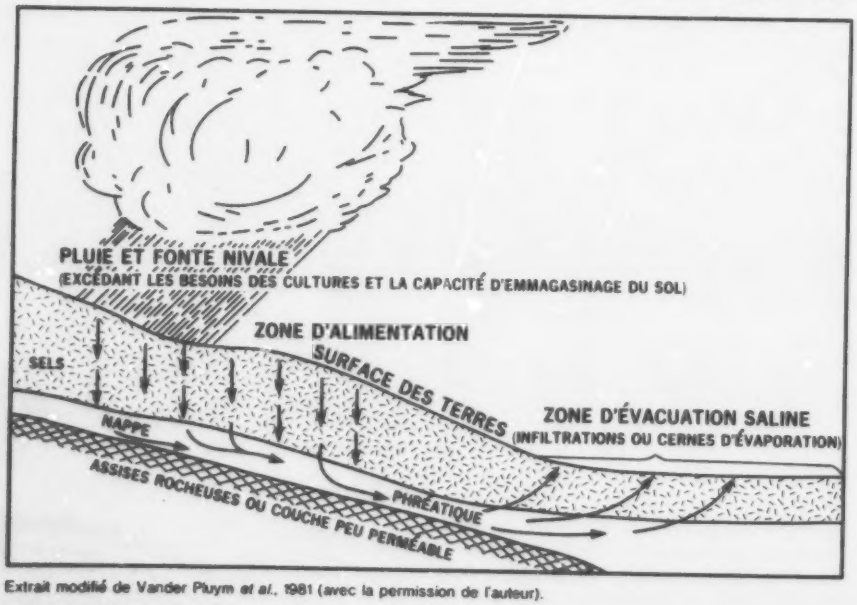
Puits régionaux: les eaux souterraines s'écoulent depuis les versants des montagnes jusqu'aux basses-terres régionales.

Cernes de dépôts évaporitiques: qui se forment autour des fondrières ou des canaux de drainage.

Les taux élevés de salinité réduisent la germination et la croissance de la plupart des récoltes parce qu'ils perturbent les mécanismes de transport de l'eau et des réserves de substances nutritives à l'interface sol-racine. Parmi les sels habituellement relevés, mentionnons les sulfates, les chlorures, les carbonates et les biocarbonates de calcium, de sodium et de magnésium. Les terres sont classées dans la catégorie des sols salins lorsque la conductivité électrique des échantillons saturés d'eau de sols de surface dépasse 4 mS/cm (millissiemens par centimètre). Un tel niveau de salinité ne nuit pas à la croissance de nombreuses récoltes, mais dès que la salinité atteint une valeur de 14 mS/cm, seules les plantes adventices très résistantes peuvent survivre. Bien que la capacité de résistance à la salinité diffère selon les variétés de toute récolte particulière, en général, elle est maximale dans les pâturages, intermédiaire dans le cas de céréales et minimale dans les cas de légumes. Lorsque les cations d'échange se composent de sodium dans une proportion supérieure à 15 %, les sols sont du type salin-sodique ou salin-alcalin. La structure pédologique de ces sols est habituellement très pauvre, selon les concentrations de sodium présentes (Henry et Johnson, 1977).

FIGURE 3.

Mécanisme classique de développement de la salinité dans les terres arides



Extrait modifié de Vander Pluym *et al.*, 1981 (avec la permission de l'auteur).

Photo 6. Cette photographie aérienne montre des infiltrations salines en Alberta. À remarquer la surface blanche des dépôts de sel, les mauvaises herbes et la piètre croissance des plantes dans la superficie touchée par le sel.
H. Vander Pluym, Agriculture Alberta

Dans les zones irriguées, les sols sont généralement salins lorsque le niveau de la nappe phréatique s'élève près de canaux qui fuient ou lorsqu'il y a suintement dû à un arrosage excessif. Au fur et à mesure que l'eau d'irrigation élève le niveau de la nappe phréatique, elle fait remonter les sels dissous souterrains plus près de la surface. Au moment de l'évaporation de l'eau, il y a accroissement de la teneur en sels de l'eau qui reste dans le sol, ce qui entraîne la destruction des récoltes et favorise la croissance des plantes adventices résistantes aux sels. Si le processus d'évaporation se poursuit, il y a destruction de toute la végétation et il se forme finalement des croûtes de sel.

Régions touchées et importance du phénomène

Seules les régions arides peuvent subir une salinisation marquée. Par conséquent, à l'exception d'un petit nombre de sites de l'intérieur de la Colombie-Britannique, la salinisation est un problème particulier aux Prairies. En général, la salinisation d'origine anthropique se limite à de très petites zones (de 1 à 10 ha) mais, selon les estimations, ce type de perturbation atteint au total 2,2 millions d'hectares de terres non irriguées et 100 000 hectares de terres irriguées (Vander Pluym *et al.*, 1981). Compte tenu de la grande dispersion des zones salinisées, il est difficile de les cartographier. Néanmoins, la carte 2 présente les plus vastes concentrations de terres non irriguées salinisées. La carte précise également l'emplacement des régions irriguées sans toutefois identifier les zones de salinisation de celles-ci. Cependant, il s'agit d'un problème répandu qui touche de 15 à 25 % des terres irriguées de l'Alberta et de la Saskatchewan. Les plus anciennes régions d'irrigation semblent les plus perturbées. Il n'existe aucune donnée sur l'étendue des terres salinisées des zones d'irrigation de la Colombie-Britannique ou du Manitoba. La carte mentionnée antérieurement présente également les zones naturellement salines, dont les sols salins solonetziques. Ceux-ci possèdent de fortes concentrations de sodium, ce qui entraîne la formation d'horizons souterrains denses qui entravent le drainage et la croissance des racines.

Sur les zones non irriguées, les puits salins se forment généralement à une distance d'environ 2 km de la zone d'infiltration (Vander Pluym *et al.*, 1981), mais certains réseaux hydrologiques régionaux s'étendent sur des distances beaucoup plus grandes. Depuis 1940, les puits salins se forment et se multiplient sur les terres non irriguées des exploitations agricoles. Compte tenu de l'accroissement de la superficie des terres incultes, certains agriculteurs ont dû acheter des terres supplémentaires pour assurer la survie économique de leur exploitation. En Saskatchewan, d'après les estimations, plus de 6,5 % des terres agricoles sont devenues incultes. Au Manitoba, la salinisation a atteint environ 4,6 % des terres et, en Alberta, 1,0 % des terres. Les estimations tiennent compte des pâturages permanents, des terres de cultures et des jachères d'été.

Tendances

Les chercheurs ne sont pas en mesure de prévoir l'évolution du processus de salinisation du sol. Les perturbations en un site donné peuvent varier d'une année à l'autre selon les taux de ruissellement pluvial et nival. Les taux de salinisation semblent augmenter à la suite d'une série d'années humides et diminuer au cours des périodes de sécheresse. D'après une étude, les terres salines non irriguées où le suintement s'étend à un rythme d'environ 10 % par an atteindront bientôt une période de stabilisation où il y aura ralentissement du taux d'augmentation du suintement qui deviendra finalement stable (Vander Pluym *et al.*, 1981). Toutefois, d'après Sommerfeltd (1977), il est fort probable que le processus de déplacement des sels des eaux souterraines, qui a pris de nombreuses années à s'établir, se poursuivra et deviendra même peut-être plus intense.

La salinisation des régions d'irrigation commence à se manifester environ 10 ans après le début de l'exploitation. Cependant, en ce qui concerne les terres non irriguées, le processus n'est mis en évidence que de 35 à 40 ans après le début de l'exploitation. C'est donc dire que même dans les régions où la distance qui sépare la source d'infiltration et la zone de suintement est courte, il faut de nombreuses années avant que les modifications du cycle hydrologique et de la teneur en sels de nappe d'eau souterraine peu profonde entraînent la formation d'un puits salin.

En Alberta et au Manitoba, au cours des dernières décennies, la réduction notable des jachères d'été a provoqué des modifications fort marquées du déplacement de l'eau dans les terres non irriguées. Toutefois, en Saskatchewan, le taux d'utilisation des jachères d'été n'a pas subi une baisse aussi notable. Même une diminution considérable des jachères d'été et la culture continue du petit blé ne permettront pas d'éliminer entièrement l'eau excédentaire à l'origine du processus de salinisation. La culture plus intensive de la luzerne et d'autres types de fourrage favoriseraient la stabilisation de la salinisation. Toutefois, la demande de luzerne et de graminées est faible sans compter que ces récoltes ont tendance à laisser le sol trop sec pour permettre la culture ultérieure des céréales (c'est-à-dire que ces récoltes ont l'effet opposé de la mise en jachère en été). Étant donné que les agriculteurs n'ont pas intérêt à exploiter la luzerne ou les graminées, pour le moment, les conditions qui contribuent à la salinisation des terres non irriguées continueront, semble-t-il, à prévaloir, du moins dans un avenir immédiat.

Sur les terres irriguées, la situation est plus encourageante. Dans l'ensemble des terres irriguées de l'Alberta (à savoir la plus vaste zone d'irrigation au Canada), des mesures d'envergure ont été prises en vue d'augmenter l'efficacité de la distribution et de l'utilisation de l'eau. L'installation d'un revêtement intérieur dans les canalisations en vue de réduire les risques de fuite ainsi que l'utilisation accrue des méthodes d'irrigation par aspersion afin de diminuer les

CARTE 2.

Sols affectés par le sel et risque relatif de salinisation des sols

Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres,
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.
Reproduit de: Coote *et al.*, 1982.

200 0 200 400 600
Kilomètres

risques d'arrosage excessif ont donné des résultats positifs. Au besoin, les agriculteurs installent des réseaux de drainage souterrains afin d'assurer la remise en état des terres qui commencent à subir les effets de la salinisation. Ces mesures ont également été prises dans d'autres zones d'irrigation de l'ouest du Canada. Sur les terres irriguées, il ne devrait pas être trop difficile de réduire le taux de salinité des sols. Toutefois, dans les sols non irrigués, la salinisation suscitera des problèmes beaucoup plus marqués pendant de nombreuses années.

Dégradation des sols en Alberta

Très peu de zones soumises à la salinisation ont fait l'objet d'une étude approfondie. Parmi les zones étudiées, mentionnons un site situé près de la ville de Vulcan en Alberta qui se trouve entre Calgary et Lethbridge (Greenlee *et al.*, 1968). Selon les observations, au cours de la période antérieure à l'étude commencée en 1965, la zone semble être devenue progressivement plus saline, ce qui a été confirmé par la comparaison des photos aériennes prises au cours des saisons de croissance de 1951 et de 1962. Greenlee et ses collègues ont installé des tubes de jaugeage de la nappe phréatique en trois emplacements au pied des versants de suintement sur les quatre sites d'étude. Sur l'un de ceux-ci, les chercheurs ont également installé trois groupes de quatre piézomètres en vue de mesurer la hauteur piézométrique de la nappe souterraine à différentes profondeurs jusqu'à la surface de la roche en place. Sur la partie du versant située au-dessus du puits salin, la roche en place se situait à environ 5 m de profondeur; sur la partie inférieure du versant, soit dans la zone de salinisation, la roche en place se situait à environ 11 m de profondeur. Tous les sols étaient du type loameux, et la texture du sous-sol variait depuis un loam sableux jusqu'à un loam argileux. D'après l'analyse des profils, les sols qui composaient la partie inférieure du versant étaient devenus salins au cours de leur formation, mais le lessivage et une perte de la salinité caractérisaient depuis longtemps cette zone. Par suite de la re-salinisation, les concentrations de sel étaient actuellement fortes et la productivité diminuait.

Selon les mesures de piézomètres et des tubes de jaugeage de la nappe phréatique, la zone située au-dessus du puits salin constituait la source d'infiltration, c'est-à-dire que l'eau pénétrait d'abord verticalement dans le sol et s'infiltrait ensuite horizontalement. Les concentrations de sel des échantillons de sol et des eaux souterraines de la région avaient une conductivité électrique d'environ 1,0 mS/cm; il s'agissait donc évidemment de sols non salins. Les valeurs de conductivité étaient supérieures à 20 mS/cm dans les échantillons de sol de la zone saline, prélevés depuis la surface jusqu'à la profondeur maximale d'échantillonnage (environ 1,1 m de profondeur). D'après les mesures des piézomètres, dans cette zone, la nappe phréatique présentait un mouvement de montée vers la surface. La conductivité électrique de la nappe souterraine était d'environ 7 mS/cm, ce qui met en évidence une accumulation de sel dans le sol.

En vue d'étudier l'écoulement souterrain de façon plus approfondie, les chercheurs ont ajouté de la teinture à l'eau des tubes de jaugeage installés au sommet du versant. Plus tard, la teinture a été constatée dans les tubes et les dépressions humides (fondrières) situés sur le versant. Cependant, la teinture n'a pas été observée dans certains tubes et certains piézomètres, ce qui indiquait que les eaux souterraines de la zone d'émergence provenaient également d'autres sources. D'après l'analyse des sels, c'est-à-dire de la teneur en sodium, il est fort probable que cette eau provenait de nappes aquifères de la roche en place.

Il est important de mentionner qu'au moment de l'étude, de nombreux champs avaient été mis en jachère au cours de l'été dans la région de Vulcan. Les conclusions d'autres études portant sur cette région (Van Schaik, 1974) établissaient nettement qu'il y avait infiltration périodique de l'eau dans les couches profondes d'un sol loameux mis en jachère au cours de l'été. Il était donc évident que la mise en jachère en été dans la région de Vulcan semblait entraîner une augmentation du niveau de la nappe phréatique ainsi que de l'écoulement des eaux souterraines en direction de la partie inférieure des versants; les sels étaient transportés par l'écoulement et se déposaient dans les sols des zones de puits salins. Dans l'ensemble des Prairies, les pédologues ont, dans une très grande mesure, recours aux résultats des études de ce type en vue de convaincre les agriculteurs que la salinisation constitue un effet secondaire de la mise en jachère des champs en été. En réduisant les jachères d'été, les cultivateurs pourraient donc récolter des avantages cachés en sauvegardant la qualité du sol par l'élimination de la salinisation.

Acidification du sol

Processus

L'un des principaux processus qui entrent en jeu dans la formation des sols est l'acidification; par ce phénomène, les acides provenant de la décomposition des composés de substances organiques ainsi que de la dissolution des dioxydes de carbone de l'eau accélèrent le rythme d'altération des minéraux du sol. Ce processus se produit dans presque tous les sols sans intervention de l'homme. Dans les régions humides et dans les sols présentant de faibles concentrations de minéraux de neutralisation (comme le calcaire), le processus s'effectue plus rapidement que dans les sols des zones arides ou dans les régions où le sol présente de fortes concentrations de calcium ou de magnésium, qui constituent des agents de neutralisation de l'acidité. De nombreux sols sont donc naturellement acides. Sur les terres de ce genre, les agriculteurs utilisent régulièrement une poudre de calcaire (chaux) comme agent de neutralisation en vue de maintenir le pH du sol entre 6,0 et 7,0, à savoir à une valeur de pH où les réserves de substances nutritives et la croissance des récoltes sont optimales (MacDonald, 1982).

Toutefois, l'acidification s'accélère fréquemment par suite des activités de l'homme notamment après l'épandage des engrais. Les engrais azotés à base d'ammonium provoquent une acidification maximale compte tenu de la nitrification bactérienne du sol due à l'épandange des engrais. L'ammonium est transformé en nitrates, ce qui provoque l'émission d'ions d'hydrogène, à l'origine de l'acidification des sols. Si l'engrais contient également des sulfates, l'acidification est encore plus marquée. Pour neutraliser l'acidité, les engrais azotés doivent contenir, en moyenne, trois fois plus d'azote que de carbonate de calcium (calcaire). Les substances véhicules de certains engrais comportent déjà des concentrations de calcium.

Les dépôts atmosphériques secs et humides provenant de la pollution de l'air constituent l'autre principale source d'origine anthropique d'acidification des sols. La combustion du charbon, la transformation du gaz naturel, les gaz d'échappement des véhicules et un certain nombre d'émissions industrielles entraînent le rejet de composés sulfureux et azotés (principalement à l'état d'oxydes) dans l'atmosphère, où ils sont dissous dans l'eau pluviale et forment des acides. Il s'agit des composants des «pluies acides». De nombreuses émissions gazeuses peuvent être directement absorbées par le sol, ce qui favorise également l'acidification (Hoyt *et al.*, 1981). Le tableau 3 fournit des estimations de l'importance relative du rôle joué par les pluies acides et les engrais dans l'acidification des sols de l'ensemble du Canada.

Un troisième type d'acidification des sols caractérise quelques régions où le sol présente des concentrations de sulfure comme, par exemple, les plaines inondables côtières endiguées et certains anciens sédiments marins. Le drainage et le labourage de ces sols favorisent l'oxydation des sulfures en sulfates, ce qui entraîne une augmentation marquée du taux d'acidité. Ces zones sont rares au Canada et se situent principalement dans les régions côtières remises en valeur de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick et de la Colombie-Britannique.

L'acidification des sols constitue un problème de dégradation des terres agricoles étant donné qu'elle entraîne la réduction des réserves de substances nutritives aux plantes, comme l'azote, le phosphore, le calcium, le potassium et le magnésium. En outre, ce phénomène provoque l'augmentation des réserves d'aluminium et de manganèse, à des concentrations qui sont parfois toxiques pour les plantes. Il y a également

TABLEAU 3.
Addition annuelle approximative à l'acidité du sol par les dépôts atmosphériques (1977–1979) et l'utilisation d'engrais (1974–1979)

Région	Équivalents de $CaCO_3$ requis annuellement pour la neutralisation (kg/ha)		
	Atmosphérique+	Engrais++	Total
Provinces de l'Atlantique	30	84	114
Québec	35	51	86
Ontario	33	90	123
Manitoba	5	72	77
Saskatchewan	0	12	12
Alberta	2	51	53
Colombie-Britannique	5	66	71

+ D'après l'addition évaluée de l'acidité des précipitations transportées sur de longues distances, calculées d'après Coote *et al.*, 1981.

++ D'après les données sur les ventes d'engrais, Canadian Fertilizer Institute, sur la base d'un besoin moyen de 3:1 (carbonate de calcium - azote).

modification de l'activité microbiologique, d'où une diminution de la nitrification et de la fixation d'azote, et une accélération de certains processus de formation de champignons et d'ammoniac. Les populations de vers de terre et d'autres espèces fauniques du sol, qui jouent un rôle dans l'aération et le mélange de celui-ci, sont également perturbées. Il est nécessaire d'ajouter du calcaire aux sols acides en vue d'augmenter le pH (qui, quelque fois, est aussi faible que 4 dans les sols fortement acidifiés) à des valeurs presque neutres. L'acidification constitue un processus de dégradation du sol et, sauf dans le cas de certaines récoltes comme les bleuets qui prospèrent dans les sols acides, elle entraîne la réduction du rendement des récoltes.

La vulnérabilité des sols à l'augmentation de l'acidité (diminution du pH) varie selon leur «capacité tampon». Il s'agit de la mesure des concentrations de calcium et de magnésium qui empêchent les variations notables du pH du sol. En général, les sols sableux acides ayant une faible teneur en matières organiques ont une capacité tampon minimale; une capacité tampon maximale caractérise les sols argileux neutres (et alcalins) présentant de fortes concentrations de substances organiques. Ce phénomène est dû au fait qu'en raison des concentrations de substances organiques et d'argile, le sol présente une forte capacité de rétention des cations de neutralisation et le pH constitue un indicateur de la capacité de neutralisation des sols.

Régions touchées et importance du phénomène

La carte 3 illustre la vulnérabilité des sols à l'acidification dans l'ensemble du Canada. Des sols naturellement acides caractérisent la totalité de l'est du Canada. Ils sont particulièrement répandus dans les zones sableuses et dans les matériaux provenant des roches granitiques du bouclier précambrien. Depuis longtemps, ces sols sont soumis à un chaulage périodique, mais, dans cette région, il est nécesaire d'utiliser des quantités de chaux plus grandes que d'ordinaire compte tenu de l'épandage des engrais azotés et de l'augmentation de l'acidité des précipitations.

Cependant, dans de nombreux sols acides des provinces de l'Atlantique, les valeurs de pH de 5,5 ou moins sont tolérées pour la culture des pommes de terre étant donné qu'elles permettent de lutter contre les maladies comme la gale de la pomme de terre.

Dans le sud de l'Ontario, le chaulage n'était pas une opération très courante dans le passé étant donné que le matériau originel de cette région comporte généralement de fortes concentrations de calcaire. Toutefois, ces sols ont reçu quelques-unes des plus fortes quantités d'engrais azotés au pays, principalement les champs de maïs, et la capacité de neutralisation de la surface a baissé. En outre, ils se situent dans la région du Canada où la hauteur des précipitations acides est maximale, d'où une réduction supplémentaire des réserves de bases de surface (Coote *et al.*, 1981). Bien que les couches inférieures de ces sols présentent des réserves suffisantes de carbonates de calcium et de magnésium libres, il y a augmentation de l'acidité dans la couche superficielle de sorte que des conditions défavorables au développement des racines sont plus courantes. En outre, actuellement, les jeunes plantes ainsi que les plantes à racines courtes ne peuvent fréquemment atteindre les réserves de chaux du sous-sol. Le problème est davantage marqué dans les sols à texture sableuse des zones de culture intensive du maïs, des légumes et des pommes de terre du sud-ouest de l'Ontario.

Dans les sols du sud des prairies semi-arides, l'acidité ne constitue pas un problème courant étant donné qu'elle se restreint habituellement à la couche de surface de certains sols solonetziques. Les sols dont le pH est de 5,5 à 6,0 préoccupent les agriculteurs des prairies qui ont recours, dans une grande mesure, à la minéralisation microbienne des substances organiques en vue d'assurer la majeure partie de l'approvisionnement en azote nécessaire aux récoltes, soit un processus qui est ralenti par l'acidité du sol. Dans les régions plus septentrionales de l'Alberta et de la Saskatchewan, l'acidification est plus fréquente étant donné qu'elle caractérise les sols des zones forestières subhumides ainsi que les sols solonetziques. Ces deux provinces comptent plus d'un demi-million d'hectares de sols agricoles dont les valeurs de pH sont inférieures à 5,5 et 1,8 million d'hectares dont le pH varie de 5,5 à 6,0 (Hoyt *et al.*, 1981). L'utilisation des engrais azotés atmosphériques entraînent l'augmentation de l'acidité de ces sols bien que dans une mesure plus restreinte que dans l'est du Canada. L'acidité atmosphérique inquiète particulièrement dans les zones directement exposées aux émissions des usines de traitement du gaz et des sables bitumineux de l'Alberta. Actuellement, dans les provinces des Prairies, l'utilisation de la chaux n'est pas rentable sur la plupart des exploitations agricoles en raison de son coût élevé et, par conséquent, aucune mesure n'a encore été prise pour remédier aux problèmes d'acidité (dans de nombreux cas, les difficultés viennent d'être constatées).

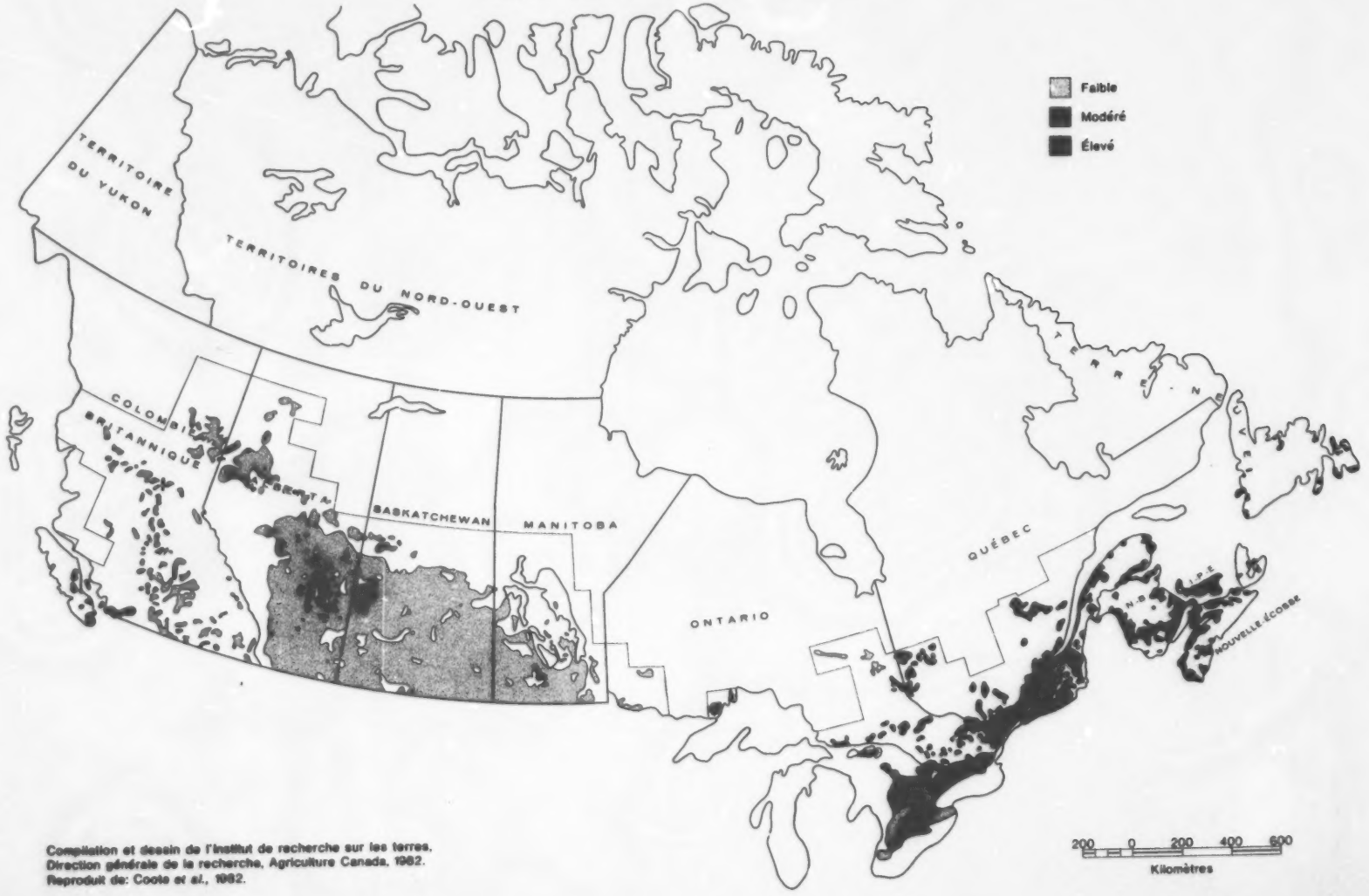
En Colombie-Britannique, la plupart des sols agricoles fortement acides (dont le pH est inférieur à 5,0) se situent dans la partie inférieure du continent et sur l'île de Vancouver. Toutefois, la superficie totale de ces zones est faible, à savoir environ seulement 23 000 ha dans l'ensemble de la province. L'épandage d'engrais dans les vergers de la vallée de l'Okanagan a provoqué une acidification restreinte autour de chaque arbre, où les valeurs de pH sont parfois inférieures à 4,0. Dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique, les agriculteurs ont depuis longtemps recours aux techniques de chaulage, mais celles-ci n'ont que récemment été mises en oeuvre dans l'Okanagan. Toutefois, en générale, les agriculteurs n'ont pas facilement accès à la chaux dans la région qui s'étend depuis l'intérieur de la Colombie-Britannique jusqu'à la région de la rivière Peace.

Tendances

Comme le confirment les résultats des essais pédologiques effectués dans l'ensemble du pays, l'acidification des sols a nettement tendance à s'étendre et à s'intensifier. L'utilisation des engrais azotés continue à augmenter bien qu'à

CARTE 3.

Risque relatif d'acidification des sols



Compilation et dessin de l'Institut de recherche sur les terres.
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 1982.
Reproduit de: Coote *et al.*, 1982.

un rythme légèrement plus lent, compte tenu de l'accroissement récent du coût du produit. Les pluies acides ne semblent pas s'être atténuées et pourraient s'intensifier dans l'est du Canada si le charbon est davantage utilisé comme source d'énergie. Dans l'ouest canadien, seule l'expansion des usines de traitement des sables bitumineux et d'élimination du soufre du gaz naturel risquerait d'entraîner l'accroissement des pluies acides.

D'après les prévisions d'Hoyt *et al.*, (1981), qui se fondent sur des preuves relativement peu fiables, en Alberta, l'acidification des sols (pH inférieur à 6,0) risque de s'étendre sur une superficie supplémentaire de 48 000 hectares au cours des quinze prochaines années. Cet accroissement est négligeable en comparaison des prévisions selon lesquelles, en Alberta et dans la région de la rivière Peace de la Colombie-Britannique, plus d'un million d'hectares de terres dépasseront le seuil d'acidité au cours de la même période en raison de l'épandage des engrais azotés.

Dans l'est du Canada, selon les estimations de Wang et Coote (1981), près de 30 % des terres agricoles, soit environ 3 millions d'hectares, sont au moins modérément vulnérables à l'acidification.

C'est donc dire que plus de 10 % des bases échangeables de ces sols risquent d'être détruites par les pluies acides au cours d'une période de 25 ans. Selon la valeur actuelle du pH de 0,5, ce qui nuirait à la production de certaines récoltes comme la luzerne, les fèves de soja et l'orge. L'épandage des engrais sur ces sols risque d'avoir les mêmes effets nocifs que les pluies acides.

Au Québec et dans les provinces de l'Atlantique, le chaulage est répandu, et les agriculteurs seront sans doute en mesure de restreindre l'acidification des sols en maintenant ou en augmentant leur dosage actuel. Dans la partie inférieure du continent de la Colombie-Britannique et sur l'île de Vancouver, la situation est similaire. Dans les régions des Prairies et de la rivière Peace ainsi que dans le sud de l'Ontario, il faudra mettre en oeuvre de nouveaux programmes destinés à réduire le coût du matériel de chaulage si l'on veut enrayer l'acidification. Hoyt *et al.*, (1981) ont estimé qu'en Alberta et en Saskatchewan, aux prix moyens que pourrait offrir une industrie de la chaux viable, les agriculteurs pourraient rentrer dans leurs frais dans les 2 ans qui suivent le chaulage de leurs terres. En outre, étant donné que le chaulage favoriserait la culture pendant 10 à 15 ans, une telle entreprise semble fort rentable bien qu'il faille encore la mettre à l'essai. Jusqu'à ce que de telles dispositions soient prises dans cette région du Canada, l'acidification ira sans doute en s'étendant et en s'intensifiant. Il faudra sans doute procéder à l'aménagement de sites pilotes et à la mise en oeuvre de programmes de subventions en vue de préconiser l'utilisation de la chaux dans cette région. Dans le sud de l'Ontario, les sources d'approvisionnement en chaux sont situées plus près des zones de chaulage, et il existe déjà une infrastructure commerciale qui pourra satisfaire à la demande de chaux dès qu'elle deviendra nettement établie. Cette demande se concrétisera sans doute dans un avenir proche, et il sera possible de réduire l'acidité des sols dans cette importante zone de terres agricoles.

Dégradation des sols en Colombie-Britannique

Les vergers de pommiers des vallées de l'Okanagan, de Similkameen et de Kootenay constituent un exemple d'acidification du sol d'un intérêt particulier (King, 1972; Lau et Peters, 1980). Au départ, les sols de ces vergers présentaient tous des valeurs de pH neutres ou légèrement alcalines (pH de 7,0 à 7,6). En 1970, l'on s'est rendu compte que certains arbres traités pour ce qui semblait être simplement une carence de bore ne présentaient aucune amélioration. Pour en déterminer les causes possibles, des échantillons de sols ont été recueillis autour des arbres touchés; tous les prélèvements de sol avaient un pH inférieur à 5,0, ce qui indique un taux d'acidité très élevé. Les chercheurs ont donc attribué la carence de bore à la présence de concentrations toxiques de manganèse dues à la solubilité accrue de cette substance dans les sols acides.

Des études supplémentaires ont permis de déterminer que l'acidité augmentait presque toujours dans la zone située à l'intérieur de la ligne du couvert des arbres, c'est-à-dire directement sous le feuillage. Au cours de l'irrigation uniforme de la totalité de la région, presque tous les vergers ont été irrigués même dans les zones situées entre les arbres où, en général, le pH se trouvait encore dans la gamme des valeurs neutres. Le lessivage de l'eau d'irrigation n'était donc pas à l'origine de l'accroissement de l'acidité. Toutefois, les engrais azotés n'étaient généralement répandus que sur les zones situées directement sous le feuillage des arbres, ce qui était le cas dans tous les vergers de l'une des zones étudiées, à l'exception de six, où les engrais ont été répandus partout uniformément. Ces six vergers étaient les seuls où le pH était identique entre les arbres et sous le feuillage. Dans trois des six vergers, le pH était près de 5,5 (King, 1972). Parmi les engrais les plus couramment utilisés, mentionnons le sulfate d'ammonium dont le pouvoir d'acidification est particulièrement important.

Une conclusion s'imposait: l'épandage d'engrais azotés dans les vergers de pommiers au cours des années avait entraîné une telle acidification du sol que de nombreux arbres s'étaient gravement détériorés à cause du déséquilibre d'au moins une substance nutritive. Les études supplémentaires de Lau et Peters (1980) ont permis de déterminer que le problème était plus important dans les sols sableux qui résistent le moins bien à l'acidification en raison de leur faible capacité de rétention du calcium et du magnésium qui neutralisent l'acidité. La vaste gamme de valeurs de pH des sols de ces vergers a été attribuée aux différences de composition chimique du matériau originel des sols et de concentration de chaux dans l'eau d'irrigation ainsi qu'à la texture des sols et aux engrais utilisés.

D'après l'analyse de la composition chimique des précipitations, ces vergers se trouvent dans l'une des régions les moins touchées par les

Photo 7. Les arbres fruitiers de la vallée de l'Okanagan ont été traités à la chaux, par épandage au pied de chaque arbre, afin de lutter contre l'acidité du sol causée par l'utilisation d'engrais azotés.
D.R. Coote, Agriculture Canada

pluies acides au Canada de sorte que, dans ce cas particulier, les pluies acides ne semblent pas contribuer dans une grande mesure à l'acidification des sols.

Actuellement, l'utilisation de la chaux est recommandée avec succès dans les vergers du sud de la Colombie-Britannique (photo 7), alors que l'emploi du sulfate d'ammonium en guise d'engrais est fortement déconseillé. Selon King (1972), l'utilisation d'engrais azotés qui n'entraînent aucune acidification, comme les nitrates de calcium, devrait être préconisée auprès des pomiculteurs de cette région, mais aucune initiative de ce genre n'a encore été prise parce que ce produit est trop cher.

Contamination du sol

Processus

La contamination du sol, que l'on appelle parfois la «pollution du sol», est provoquée par l'addition indésirable de produits chimiques aux terres agricoles, comme les substances chimiques présentes dans les retombées atmosphériques ainsi que celles qui se trouvent dans les eaux d'égout et les boues industrielles ou les résidus de pesticides. La contamination peut également être de nature biologique.

Les retombées radioactives et les résidus persistants des pesticides organochlorés, dont l'utilisation est maintenant interdite, sont actuellement incontrôlables, mais les concentrations de ces substances semblent s'affaiblir à des niveaux inférieurs au seuil de tolérance. Les années 1965 et 1966 ont été caractérisées par les plus fortes retombées radioactives (par exemple, du strontium 90), mais les perturbations sont actuellement moins notables compte tenu de la décomposition naturelle. À moins d'une reprise des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère ou d'une catastrophe nucléaire, les concentrations de substances radioactives dans le milieu devraient continuer à diminuer. Il n'existe aucune méthode pratique de réduction des concentrations actuelles mais, selon les chercheurs, le taux d'absorption par les cultures ne dépasse pas les limites établies par les normes d'hygiène. D'après les renseignements, les méthodes d'évacuation présentement utilisées pour les déchets radioactifs des centrales électriques n'ont pas d'effets préjudiciables sur les terres agricoles.

Un nombre considérable de données ont été rassemblées en ce qui concerne l'évolution des pesticides organochlorés persistants dans les sols.

L'emploi d'insecticides organochlorés comme l'aldrine, la dieldrine et le DDT a été graduellement interdit entre 1969 et 1972, et l'utilisation du chlordane, de l'heptachlore et de l'endosulfan est actuellement très restreinte. Les concentrations de ces produits dans le milieu diminuent actuellement grâce au phénomène de la décomposition biologique. Cependant, les types de sols et le climat influent sur les taux de décomposition, ceux-ci étant plus élevés dans les sols plus chauds, plus humides et à texture grossière que dans les sols froids, secs et lourds (Edwards, 1966, Frank *et al.*, 1974; Stewart et Chisholm, 1971).

Dans des conditions normales de désherbage, les concentrations phytotoxiques d'herbicides persistent rarement dans le sol plus d'une année. Toutefois, dans les zones où le climat est frais et où les sols sont argileux, la décomposition des herbicides est lente, et certains de ceux-ci, comme le paraquat, se fixent si étroitement aux particules d'argile du sol que leur décomposition est négligeable, ce qui entraîne une accumulation de ces substances dans le sol (Khan *et al.*, 1975).

Les sols des vergers et des cultures maraîchères soumis à une exploitation continue au cours de longues périodes mettent en évidence une accumulation de certains résidus d'arsenic, de plomb et de cuivre provenant des pesticides employés avant que l'utilisation des composés organochlorés se soit répandue, au cours des années 1950. À l'heure actuelle, grâce à la conscientisation des chercheurs et des agriculteurs ainsi qu'à l'évaluation systématique des nouveaux pesticides avant leur commercialisation, la contamination du sol par les résidus a été réduite.

Les boues des eaux d'égout constituent une importante source d'azote et de phosphore pour les terres agricoles, et certains agriculteurs se livrent volontiers à ce type d'épandage s'ils peuvent se procurer les boues gratuitement ou à un coût raisonnable. Cependant, les boues des eaux d'égout des zones industrielles sont fréquemment contaminées par des métaux lourds ou des composés organiques toxiques. Selon des études effectuées en Ontario, le taux d'absorption par les cultures et les pertes par lessivage des concentrations de métaux lourds sont négligeables (Webber *et al.*, 1978), ce qui indique une accumulation des métaux dans les sols soumis à l'épandage de boues. Le cadmium, le plomb, le chrome, le nickel, le cuivre et le zinc sont particulièrement préoccupants parce qu'ils se fixent dans le sol à la suite de l'épandage des boues (Bates, 1972). Le taux d'accumulation croissant risque éventuellement de devenir toxique pour les plantes et peut-être même pour le bétail ou les êtres humains. Le seuil de tolérance du sol en ce qui concerne l'accumulation de ces métaux fait encore l'objet d'études (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1981). L'utilisation de certaines boues à des fins d'épandage a été interdite à cause de leur teneur en cadmium.

Il existe sans doute d'autres sources de contamination du sol par les métaux et les produits chimiques. Les émissions des cheminées d'usine et l'échappement des véhicules ainsi que les particules de poussière provenant du stockage à l'air libre du matériel industriel sont, par intermittence, des sources de contamination du sol.

La contamination biologique constitue un problème complexe. Parmi les organismes à l'origine de ce type de contamination, mentionnons les nématodes dorés de la pomme de terre à Terre-Neuve et à l'île Vancouver, ainsi que les organismes du sol qui provoquent des maladies comme la hernie du chou et les piétins des céréales et du tabac. Les parasites et les maladies des animaux comme la coccidiose des volailles et l'anthrax du bétail peuvent également être transmis par les sols contaminés. En général, cependant, les organismes parasites ainsi que ceux qui sont à l'origine des maladies ne survivent que peu de temps et la gestion appropriée du bétail et des pâturages permet de prévenir les réinfections.

Régions touchées et importance du phénomène

C'est le sud de l'Ontario qui, au Canada, est la région la plus touchée par la contamination du sol, bien que le problème ne soit pas encore notable. En raison des normes sévères appliquées au traitement des eaux d'égout et des effluents pour protéger la qualité des eaux des Grands Lacs, des volumes considérables de déchets urbains et industriels doivent être évacués par d'autres moyens. Par conséquent, une grande partie des boues sont épandues sur les terres agricoles, et cette pratique deviendra sans doute de plus en plus courante avec la raréfaction des décharges. En outre, cette région a les plus fortes densités d'industrialisation et de population urbaine au Canada, et produit donc une grande quantité de déchets de toutes espèces. La consommation de combustible ainsi que les émissions atmosphériques (par exemple, le plomb) sont également élevées. À cause des cultures fruitière et maraîchère intensives, l'utilisation des pesticides est plus importante dans ce secteur que dans la majorité des autres régions.

En 1975, environ 11 100 ha de terres agricoles de l'Ontario ont été utilisées à des fins d'évacuation de boues d'égout, et la totalité de cette superficie se trouvait dans un rayon de 40 km de la ville d'où provenaient les boues (Webber *et al.*, 1978). En 1978, 34 % des boues de l'Ontario ont ainsi été épandues, le reste ayant été évacué par voie d'incinération (41 %) ou de remblayage (16 %). En raison de la déphosphatation plus poussée qui sera probablement imposée aux usines de traitement des eaux d'égout (pour respecter les dispositions des Accords modifiés entre le Canada et les États-Unis d'Amérique relatifs à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs), le volume de boues à évacuer augmentera sans doute davantage. Étant donné que les terres utilisées à des fins d'épandage des boues ne devraient pas être soumises à nouveau à ce traitement avant un certain nombre d'années, afin d'éviter l'accumulation de

métaux lourds, la superficie totale des terres touchées risque d'être de cinq à dix fois plus grande que la surface utilisée pour l'épandage au cours de n'importe quelle année particulière.

En Ontario, de nombreux sols employés antérieurement pour la culture de fruits et de légumes (particulièrement les pommes de terre) ont des concentrations légèrement trop élevées d'arsenic, de cuivre, de mercure ou de plomb ou d'une combinaison de ces éléments, dues à l'utilisation antérieure de pesticides et d'herbicides pour faciliter la récolte (Frank *et al.*, 1976). Par conséquent, l'épandage de boues sur ces sols risque d'avoir des effets encore plus préjudiciables qu'ailleurs.

D'après les données sur les pluies acides (Coote *et al.*, 1981), l'ensemble de la zone qui s'étend du sud-ouest de l'Ontario jusqu'aux provinces de l'Atlantique est caractérisée par le plus haut taux de dépôt de polluants atmosphériques au Canada. Les conclusions de l'étude de Frank *et al.* (1978) établissaient que, dans le cas d'au moins un composé organique toxique d'origine industrielle (PCB), les concentrations au sol dues aux précipitations étaient considérablement plus élevées que les concentrations relevées dans les eaux de drainage et de ruissellement d'un certain nombre de petits bassins versants. Il y avait donc manifestement accumulation de la substance dans le sol et la végétation. Toutefois, les concentrations cumulées n'étaient pas suffisamment élevées pour être décelées dans les échantillons de sols. Les concentrations de nickel, de cuivre et de zinc relevées dans les sols en aval des fonderies de nickel de l'Ontario constituent un autre exemple de contamination des sols due à la pollution atmosphérique (Rutherford et Bray, 1979). Dans la région de la vallée du Saint-Laurent située près de Cornwall en Ontario ainsi que dans la région du lac Saint-Jean au Québec, des traces de contamination au fluor ont également été constatées dans les sols de la zone directement exposée aux émissions des fonderies d'aluminium.

Dans les régions de culture de la pomme de terre de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick, l'arséniate de sodium a fréquemment été utilisé en vue d'éliminer la partie aérienne des plantes avant la récolte. Certains résidus d'arsenic contaminent encore le sol bien que l'arséniate de sodium ne soit plus employé.

La vaste région de l'est du Canada où l'on pratique la culture en rotation (par exemple, maïs, fèves de soja, luzerne et petites céréales) est également perturbée par la persistance d'herbicides comme l'atrazine. Cette substance est utilisée dans les champs de maïs, mais risque d'endommager les récoltes ultérieures. En général, cette forme de contamination du sol est temporaire et peut être évitée par un choix judicieux des herbicides ainsi que par la rotation appropriée des cultures.

Dans l'ouest du Canada, à l'exception de la pollution par le soufre et les sels qui a déjà été analysée dans ce document, la contamination du sol soulève actuellement moins de préoccupations. L'épandage des boues d'égout est pratiqué, dans une certaine mesure, sur les terres agricoles entourant les villes de Winnipeg, Yorkton, Régina, Saskatoon et Calgary. Dans un certain nombre de petites localités des Prairies et de l'intérieur de la Colombie-Britannique, les eaux usées urbaines sont utilisées pour l'irrigation, mais aucun problème de contamination des sols n'a encore été relevé. Toutefois, certaines contaminations ponctuelles se sont produites par suite de déversements de pétrole à certains puits ou pipelines. Les poussières fines engendrées par l'exploitation des mines de sel et de potasse sont également à l'origine d'une certaine contamination du sol, particulièrement lorsque les matières sont stockées à ciel ouvert.

Dans l'ensemble du Canada, les résidus de la transformation des fruits et des légumes sont fréquemment éliminés par voie d'irrigation. Dans de nombreux cas, les déchets contiennent des matières très alcalines et leur évacuation par irrigation a endommagé temporairement certains sols. L'évacuation ou la décharge de volumes excessifs de fumier peut également provoquer un certain type de contamination des sols. Ce phénomène est particulièrement courant dans les régions où le nombre de têtes de bétail est excessif par rapport à la superficie utilisable pour l'évacuation des déchets. Ce genre de problème existe dans la partie inférieure de la vallée du Fraser, en Colombie-Britannique, ainsi qu'au Québec, au sud et à l'est de Montréal. Ces pratiques rendent le sol quasi inculti-vable pendant plusieurs années; en outre, l'eau de ruissellement des décharges de fumier est extrêmement polluée et peut facilement contaminer les cours d'eau, les lacs et les puits.

Tendances

Il est fort difficile de discerner les tendances en matière de contamination des sols. D'une part, il y a une plus grande sensibilisation aux dangers des résidus de pesticides; d'autre part, le nombre et la variété des composés industriels commercialisés ou des sous-produits dérivés de la fabrication qui contaminent les sols et le milieu en général augmentent sans cesse.

Une attention de plus en plus grande est accordée à la dispersion atmosphérique des déchets directement liée à l'acidification des pluies. Si l'on réussit à réduire les pluies acides par la restriction des émissions atmosphériques de soufre et d'azote, les contaminants du sol connaîtront probablement une baisse correspondante. Il est toutefois difficile de déceler les rejets de produits contaminants dans les réseaux d'assainissement et de les restreindre. Ces rejets entraînent inévitablement la contamination des effluents des eaux usées, et il y a souvent concentration des substances contaminantes dans les boues au cours de la déphosphatation. L'évacuation de ces boues se fait par remblayage, incinération ou épandage. Il devient de plus en plus difficile de trouver des sites de remblayage à proximité des usines de traitement; l'incinération ne fait que modifier le genre d'émissions contaminantes en augmentant le taux des retombées atmosphériques et en suscitant un problème d'élimination des cendres. Pour les autorités municipales, l'épandage des boues sur les terres agricoles à proximité des centres urbains constitue, par conséquent, une solution des plus attrayantes. Malheureusement, les agriculteurs risquent éventuellement d'être forcés d'utiliser des boues de qualité douteuse et d'accroître ainsi la contamination des sols.

En raison de l'augmentation constante des coûts de pesticides et d'engrais, de nombreux agriculteurs mettent en oeuvre une approche «intégrée» de lutte contre les parasites et d'épandage de fumier. Dans le cadre d'un programme de gestion intégrée de lutte contre les parasites, la culture en rotation et l'application de pesticides au bon moment permettent de réduire les dégâts causés par les insectes et les mauvaises herbes, et la quantité de pesticide utilisée. Bien que la composition des pesticides actuels soit soumise à des essais minutieux, l'utilisation restreinte de ces produits devrait permettre de réduire davantage les risques de contamination du sol. En outre, l'utilisation accrue et améliorée du fumier, pour des raisons économiques, devrait également réduire les risques d'entassement de cette matière sur de petites surfaces, à seule fin d'évacuation. L'utilisation massive du fumier comme engrais améliore la qualité du sol et réduit la contamination due à un excès de substances nutritives ou de sels.

Un exemple de l'Ontario

À titre d'exemple de la contamination des sols causée par l'épandage de boues d'égout sur les terres agricoles, voici un bref aperçu de certains résultats d'une étude détaillée faite par l'université de Guelph pour le compte des gouvernements du Canada et de l'Ontario (Soon et Bates, 1981). L'étude portait sur la teneur en substances nutritives et en métaux lourds de trois types de boues d'égout d'un certain nombre de villes du sud de l'Ontario. Les effets de divers taux d'épandage des boues sur les métaux lourds dans les sols et les cultures ont été étudiés, et il y a eu des études semblables sur les substances nutritives principales et secondaires des cultures.

Le principal critère de l'épandage des boues en Ontario est généralement la teneur en azote (ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario et ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1981) afin de réduire le risque de pollution des sources d'alimentation en eau par l'azote. Les critères secondaires sont les teneurs existantes de phosphore dans le sol et les rapports entre l'azote et les 11 principaux métaux lourds contenus dans les boues d'égout. Ce dernier critère établit les limites d'application

maximale totale pour chaque métal. Des traces de tous les métaux lourds se trouvent à l'état naturel dans la plupart des sols et des plantes, mais nous ne connaissons pas encore très bien les teneurs maximales inoffensives pour le bétail et pour l'homme. Deux métaux lourds qui donnent une certaine indication des difficultés qu'il y a à établir les taux d'épandage admissibles des boues sont pris en considération dans cet exemple.

Le cadmium est un métal lourd considéré comme particulièrement dangereux pour les hommes et pour les animaux. Soon et Bates (1981) ont trouvé que l'épandage de certaines boues entraînait un accroissement constant de la teneur en cadmium des sols et des cultures. À un niveau d'application légèrement supérieur à celui permis pour le cadmium par les directives de l'Ontario, un type de boue (traitée à l'aluminium) a augmenté la teneur du cadmium extractible du sol, c'est-à-dire le cadmium accessible aux plantes, d'environ 300 %, et la concentration de cadmium dans le maïs a cru d'environ la moitié de cette valeur. D'autre part, avec de la boue traitée au calcium, il y a eu très peu de changement dans les concentrations de cadmium extractible du sol ainsi que dans l'absorption de cadmium par les cultures, même lorsque la limite maximale d'application permise par les directives était dépassée.

Dans le cas du nickel, cependant, c'est une boue floculée au calcium qui a entraîné les plus fortes augmentations des teneurs de nickel extractible dans le sol: jusqu'à 6 fois plus dans un type de sol où le taux d'application maximum recommandé était dépassé, comparativement à une augmentation au double de la teneur seulement avec une boue traitée à l'aluminium. Les concentrations dans les plants de maïs se trouvaient augmentées respectivement d'environ 200 % et 10 %.

À mesure que les boues se décomposaient, les métaux lourds ne pénétraient que très peu dans le sol lorsqu'ils ne restaient pas près de la surface où ils avaient été appliqués et pouvaient donc être perdus dans le milieu environnant par l'érosion éolienne et hydrique. Des recommandations ont été faites afin de réduire les risques du ruissellement et d'érosion des métaux lourds et des substances nutritives, comme l'interdiction d'épandre des boues d'égout sur des pentes abruptes ou près des cours d'eau.

Il a été démontré que les boues d'égout sont une source précieuse d'azote, de phosphore et d'autres éléments essentiels aux cultures. Cependant, il a également été démontré que les métaux lourds toxiques qu'elles contiennent dans bien des cas se comportent de façon très différentes dans les sols selon l'élément lui-même, le type et l'origine de la boue, et le type de sol. Les exploitants agricoles doivent donc se méfier des boues d'égout et insister pour que les directives actuelles, bien que provisoires à certains égards, soient très bien observées. Une fois contaminés, les sols conservent les métaux lourds presque indéfiniment et créent ainsi de nouveaux problèmes.

Dégradation physique des terres agricoles

Tassement du sol

Processus

Les sols se tassent lorsque leur structure se détériore et que leurs particules sont redistribuées de façons à réduire les interstices qui les entourent. Ce phénomène se produit de plusieurs façons: passage répété de machines lourdes sur les sols: écrasement des mottes (agrégats) et vibration des petites particules en tas plus compacts avec des machines agricoles utilisées à grande vitesse, ou écrasement délibéré de ces particules, avec des rotoculteurs par exemple; perte des matières organiques qui lient les particules des sols en agrégats stables; et expulsion de l'air du sol par compression et destruction de la structure poreuse en travaillant le sol mouillé (photo 8).

Le tassement du sol est nuisible à bien des égards. Il ralentit notamment la croissance des racines parce que l'eau et l'air ne peuvent pas se déplacer librement dans le sol pour optimiser le milieu de croissance. Les racines ne peuvent pas pénétrer les horizons profonds du sol dans lesquels elles pourraient puiser plus d'humidité et de substances nutritives; les plantes sont donc plus sujettes au stress en temps de sécheresse.

Le tassement du sol réduit la vitesse de pénétration et de déplacement de l'eau dans le sol. Cela entraîne un accroissement de la retenue des eaux en surface (ce qui endommage un grand nombre de plantes), des eaux de ruissellement et de l'érosion du sol. Le drainage du sol est également entravé étant donné que l'eau ne peut s'infiltrer assez vite dans les drains souterrains. Le tassement du sol augmente la consommation d'énergie pour la culture puisqu'il faut, dans ce cas, employer de plus gros tracteurs, ou des machines plus étroites, ce qui augmente les coûts en carburant et en temps. Il est généralement associé aux fréquents labourages de la monoculture en lignes. Le labourage continuel de la terre à la même profondeur entraîne la formation d'une couche dense de sol ou «croûte» immédiatement en dessous de la couche labourée.

Le tassement du sol semble être plus grave dans les sols à texture grossière (sableux) ou à texture fine (argileux). Cela peut être attribuable à la meilleure agrégation des particules en mottes (agrégats) dans les sols dont les particules sont de tailles différentes (loams). Certaines recherches indiquent que le tassement est au moins partiellement réduit par l'action du gel dans les sols en hiver.

Régions touchées et importance du phénomène

Le tassement du sol et la dégradation de la structure sont étudiés dans tout le Canada, mais il n'existe que peu de données mesurées pour

Photo 8. Le conducteur de cette charrue dans le sud-ouest de l'Ontario a essayé de labourer autour d'une dépression dans laquelle l'eau a inondé les ornières. Le labourage dans ces conditions détériore la structure du sol, en augmente le tassement et aggrave les problèmes de ruissellement superficiel et de dépressions humides.
C. Baldwin, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario

évaluer l'importance du problème. Dans les basses-terres inférieures de la Colombie-Britannique, des sols à texture lourde (argile), avec des nappes phréatiques élevées, souvent labourés lorsqu'ils sont détrempés, sont reconnus pour avoir été dégradés par le tassement. L'eau reste longtemps à la surface de certains champs, malgré le drainage souterrain. Cependant, la cause ou l'importance exacte du problème n'a pas été mesurée et aucun inventaire n'a été fait pour en évaluer l'étendue.

Les mêmes lacunes existent dans l'est du Canada, bien qu'il existe certaines données pour le sud de l'Ontario, le sud du Québec et le Nouveau-Brunswick. Comparativement à la culture du maïs par rotation, la monoculture du maïs dans le sud-ouest de l'Ontario a entraîné une réduction des interstices remplis d'air dans le sol d'environ 10 %, et une augmentation de la densité apparente nécessitant l'utilisation d'une quantité supérieure d'engrais afin de maintenir le même rendement (Bolton *et al.*, 1979; Bolton et McDonnell, 1982). Dans l'est de l'Ontario, les labours répétés sur une période de plus de 35 ans pour la monoculture du maïs et la monoculture de petites céréales (avoine, orge) ont réduit le mouvement de l'eau, augmenté la densité du sol et diminué l'espace des interstices remplis d'air dans au moins quatre types de sols (Coote et Ramsey, 1983). Des résultats semblables ont été constatés dans des études faites au Nouveau-Brunswick sur les terres utilisées pour la culture de la pomme de terre (Saini et Grant, 1980). Les machines utilisées pour récolter la pomme de terre sont particulièrement lourdes et vibrent beaucoup. De plus, un grand nombre des types de sols cultivés dans les provinces de l'Atlantique ont des sous-sols naturellement denses qui font obstacle au drainage et au développement des racines même sans l'effet de tassement provoqué par le labourage.

Dans le sud du Québec, le tassement du sol crée certaines difficultés aux exploitants agricoles qui cultivent le maïs et la betterave à sucre sur des sols argileux et sableux. La densité accrue du sol a réduit le drainage interne de telle sorte que la retenue des eaux de pluie en surface endommage les cultures. Le problème s'aggrave du fait que ces sols sont souvent labourés lorsqu'ils sont détrempés. Le tassement du sol rend le labourage plus dur, si bien que dans certains champs, les tracteurs qui tiraient habituellement des charrues à six socs sont employés maintenant pour des charrues à trois socs.

Le labourage du sol, fait au niveau d'humidité voulu, répare les effets nuisibles du tassement du sol, du moins dans les couches arables. Cependant, dans les vergers cultivés, l'utilisation constante de machines lourdes et de remorques chargées provoque un tassement considérable de la surface du sol ou de la couche sous-jacente. Des études faites au Québec indiquent qu'l'importance de ce tassement a été quelque peu modérée par l'action du gel et le développement des racines (Raghavan *et al.*, 1976). Le même problème dans le sol des vergers de la Colombie-Britannique a réduit l'infiltration des eaux d'irrigation et obligé les exploitants à retourner la terre pour laisser l'eau y pénétrer.

Les sols des Prairies ne subissent apparemment pas de tassement par labourage (Cameron *et al.*, 1981). Dans les régions subhumides, comme la région de la rivière de la Paix et le centre de la Saskatchewan, la structure des sols cultivés est souvent faible et il se peut que les labours du printemps aggravent le problème d'encroûtement du sol.

Tendances

Le tassement du sol est étroitement lié à l'intensité et à la fréquence des labours. Toute augmentation de l'un de ces facteurs est susceptible d'accroître le tassement du sol, particulièrement là où l'humidité du sol est telle qu'il est presque impossible d'éviter le labourage en sol humide. La tendance à l'expansion des monocultures en lignes dans l'est du Canada laisse prévoir une aggravation presque inévitable du problème. Ces sols sont généralement saturés au printemps après la fonte nivale, et en raison des courtes saisons de croissance, les exploitants agricoles sont toujours pressés de labourer au plus vite, souvent même avant que le sol soit suffisamment sec. D'autre part, les lourdes machines sont souvent utilisées à la fin de l'automne lorsque les sols sont excessivement humides. L'expansion de cultures comme le maïs dans les régions marginales, avec des variétés hâtives, aggravera donc le problème du tassement du sol. C'est ce qui se produira vraisemblablement dans les provinces de l'Atlantique et dans le sud-est du Manitoba.

Le problème de tassement du sol a été étudié par Bolton *et al.*, (1979) dans des sols utilisés pour la monoculture du maïs dans le sud-ouest de l'Ontario et ces études ont porté les auteurs à conclure que les perspectives d'avenir pour ce genre de culture étaient peu encourageantes. Selon Bolton *et al.*, (1979) l'efficacité réduite des engrais et l'amincissement de la couche arable obligeront finalement les agriculteurs à abondonner la monoculture et à reprendre les cultures par assolement qui conservent le sol en bon état.

Il semble peu probable que le problème de tassement du sol se produise dans les Prairies, où la tendance actuelle consiste à diminuer les travaux de labours en réduisant les jachères d'été et en acceptant davantage de travailler le moins possible le sol (le désherbage chimique élimine absolument le labourage classique) pour de nombreuses cultures de plein champ. Des labours moins fréquents diminuent les risques de tassement dans la plupart des sols. L'expansion des grandes cultures dans le nord des Prairies augmentera cependant les problèmes de structure du sol dans ces régions marginales. Il faudra faire des recherches plus poussées sur la nature de la détérioration de la structure du sol avant de pouvoir prévoir de façon assez exacte l'étendue future du problème.

Un exemple du Nouveau-Brunswick

La recherche faite par Saini et Hughes (1972) au Nouveau-Brunswick montre bien l'impact que des labours continus et intensifs peuvent avoir sur l'état physique du sol. Trois sols habituellement utilisés pour la culture de la pomme de terre ont été étudiés afin de déterminer comment la densité du sol, la teneur en humidité du sol, le taux de diffusion de l'oxygène dans le sol, et le rendement de la pomme de terre étaient influencés par le tassement du sol provoqué par les machines utilisées pour le labourage et la récolte.

Les auteurs ont trouvé que l'augmentation du nombre de passages des tracteurs sur le sol de 0 (sans labour) à 12 (labour excessif) entraînait une augmentation de la densité apparante du sol de 18 %. Parallèlement, les mesures de l'humidité du sol indiquent une réduction de l'infiltration de l'eau dans le sol et une augmentation correspondante des eaux de ruissellement.

Le taux de diffusion de l'oxygène dans le sol, important pour la croissance des racines, était réduit de 13 %. L'impact le plus important se situait cependant au niveau du rendement qui diminuait d'environ 22 % par suite du tassement accru du sol.

Dans une étude connexe, Saini et Hughes (1972) ont démontré que la facilité avec laquelle un sol se tassait variait selon les différents types de sols. Généralement, plus le sol était humide plus le tassement était important et celui-ci augmentait proportionnellement au nombre d'années au cours desquelles le sol avait été utilisé pour la monoculture de la pomme de terre.

Malheureusement, il y a très peu de renseignements sur la façon de réduire ou d'éliminer le tassement du sol au Nouveau-Brunswick. Des études se poursuivent sur l'utilisation d'amendements comme l'écorce déchiquetée des arbres pour aider le sol à résister au tassement au cours du labourage et de la récolte des pommes de terre.

Il est impossible d'établir avec précision l'impact direct du tassement du sol sur les récoltes au Nouveau-Brunswick. Les fluctuations annuelles des conditions atmosphériques, les ajustements du taux d'épandage d'engrais et des pratiques de labourage faits par les exploitants agricoles et les améliorations des variétés cultivées ont tendance à masquer l'effet de la qualité du sol et de rendre ainsi l'impact global du tassement difficile à déterminer.

Mélange et perturbation du sol

Proccessus

Le mélange et la perturbation du sol peuvent se produire dans un grand nombre de cas, mais les plus importantes sont l'exploitation des mines à ciel ouvert et l'installation d'oléoducs et de gazoducs. Lorsque ces opérations se font dans des régions agricoles, il est normalement exigé que le sol perturbé soit remis dans un état satisfaisant pour l'agriculture, à la fin des travaux. D'autres formes de perturbations du sol sont courantes, un grand nombre sont associées à l'affectation permanente de terres agricoles à d'autres fins comme la construction de routes.

L'exploitation de mines à ciel ouvert est le mode d'extraction normal d'une grande variété de matériaux, et les extractions qui perturbent le plus les terres agricoles sont celles du charbon, du sable et du gravier. De vastes gisements de charbon se trouvent sous les terres agricoles des Prairies et il faut perturber des sols productifs pour extraire ces réserves. Dans le cas des matériaux de construction, les pressions économiques poussent à l'utilisation des gisements les plus proches des zones urbaines, ce qui entraîne la perturbation des terres agricoles. Il y a suffisamment de réserves de sable, de gravier et de pierre dans des régions à faible potentiel agricole, mais les frais de transport incitent généralement les entrepreneurs à utiliser de préférence les gisements qui se trouvent dans de bonnes régions agricoles.

L'extraction des minéraux à ciel ouvert suit généralement le décapage de la couche arable et du sous-sol pour exposer le matériau sous-jacent. Si la couche arable est empilée à part des morts-terrains, elle pourra être réutilisée lors de la remise en état des terres, mais bien souvent les morts-terrains doivent être retournés et mélangés pour recouvrir des terres adjacentes où l'exploitation minière est terminée. Dans les cas où il y a eu séparation de la couche arable, la nature des matériaux constituant le sol se trouve cependant considérablement modifiée. Lorsque le sol contient des sels, comme c'est souvent le cas dans les prairies, les eaux de percolation dans le sous-sol seront vraisemblablement salines après la remise en état du terrain. La topographie est aussi généralement changée, ce qui entraîne des modifications dans l'écoulement des eaux souterraines. L'exploitation par excavateurs laisse souvent une surface ravinée qui nécessite des travaux de nivellement au cours de la remise en état du terrain en vue de sa réutilisation pour l'agriculture.

Les sablières, les gravières et les carrières sont souvent exploitées durant de longues périodes. Il y a très peu de morts-terrains où de rebuts pour le remblai et les réserves de terre arable sont souvent insuffisantes pour la remise en état du terrain. Les modifications importantes de la topographie ne laissent souvent d'autre choix que la remise en état du terrain pour des fins récréatives.

Au cours de l'enfouissement d'un pipeline (voir photo 9), la couche arable est généralement décapée avant que le sous-sol soit amené à la surface et empilé. Lorsque la terre est remise en place dans la tranchée, elle est invariablement mélangée et les matériaux les plus profonds et les moins météorisés se trouvent alors plus près de la surface. Après la remise en place de la couche arable, la surface et la colonne de terre modifiées au-dessus du pipeline se tassent très souvent. La productivité est fréquemment inférieure à ce qu'elle était avant la perturbation. Quelquefois, le sol est plus productif pour certaines cultures lorsque les matériaux à forte teneur en calcium sont amenés près de la surface. Ce genre d'altération a amélioré le rendement des sols Solonetz (salin et alcalin) des Prairies (de Jong et Button, 1973; Toogood, 1974). La luzerne, culture qui ne tolère pas les sols acides, a également bénéficié du pH plus élevé du sol après la construction du pipeline dans l'est du Canada. La plupart des changements apportés aux propriétés du sol des régions situées en dehors des Prairies ont cependant diminué le rendement de la plupart des cultures pendant au moins 5 ans. Les pertes de rendement semblent principalement dues à la diminution des matières organiques, de l'azote et du phosphore accessible et à une dégradation de la structure du sol, principalement dans les sols à texture fine (Culley *et al.*, 1982).

Régions touchées et importance du phénomène

Les sablières, les gravières et les carrières constituent la plus grande superficie des terres perturbées dans les régions agricoles du pays. D'après les estimations, au moins 34 000 ha de terres ont été ainsi perturbés en 1977 dans l'est du Canada, dont plus de 28 000 ha par les sablières et les gravières (Marshall, 1982). Environ 60 % de cette superficie se trouvaient en Ontario, et 30 %, au Québec. Toutefois, si les exploitations sans permis étaient comprises dans cette évaluation, Marshall estime que cette superficie augmenterait de 8 000 ha en Ontario seulement. L'étude d'une région densément peuplée du sud de l'Ontario a fait ressortir qu'environ un tiers seulement des terrains perturbés avaient été remis totalement ou partiellement en état.

La superficie des terres perturbées par l'extraction de matériaux de construction est évaluée à environ 14 000 ha en Colombie-Britannique, 11 000 ha en Saskatchewan, et 9 000 ha respectivement en Alberta et au Manitoba. Au Manitoba, environ 2 [illegible]0 ha de ces terres se trouvent à moins de 50 km de Winnipeg (Marshall, 1982).

L'extraction du charbon par excavateurs est l'exploitation minière qui endommage le plus les terres agricoles. Les provinces qui en souffrent le plus sont l'Alberta et la Saskatchewan. Au Nouveau-Brunswick, la majeure partie de la superficie touchée est constituée soit d'anciennes terres agricoles défrichées, soit de terres forestières à bon potentiel agricole. Environ 2 500 ha de terres ont subi ce genre d'excavation dans les zones agricoles de l'Alberta, environ 5 000 ha en Saskatchewan et environ 4 500 ha au Nouveau-Brunswick. Le rythme de remise en état des terres rejoint presque celui des nouvelles exploitations par excavateurs dont la moyenne est d'environ 150 ha annuellement dans chacune de ces provinces en 1979 (Mar-

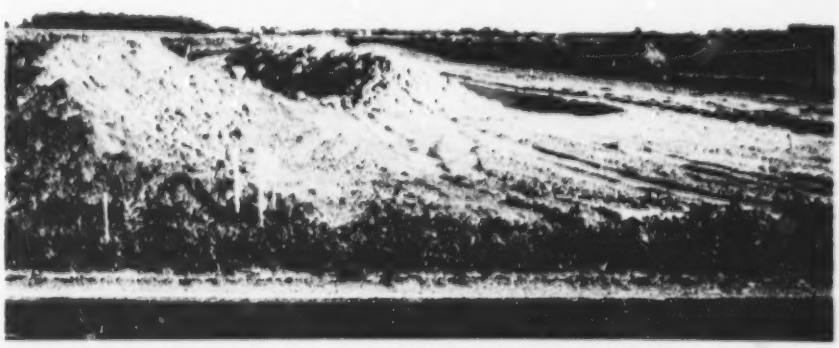


Photo 9. La couche arable et le sous-sol sont empilés le long de l'emprise d'un pipeline qui traverse des champs de maïs productifs dans l'est de l'Ontario.
V. Kirkwood, Agriculture Canada

shall, 1982; Thirgood, 1978). L'Alberta a imposé des mesures très strictes qui obligent les exploitants de mines de charbon dans les zones agricoles à remettre ces terres en un état tel qu'elles puissent être réutilisées pour l'agriculture après l'exploitation de la mine. La période au cours de laquelle ces terres sont excavées, exploitées et remises en état est d'environ 5 ans. Il faut généralement 5 autres années pour que les terres remises en état retrouvent une productivité agricole acceptable.

L'installation de pipelines a été intensive dans l'ouest du Canada et dans l'est, au Québec. Les canalisations principales courent sur plus de 5 000 kilomètres dans les seules provinces des Prairies, mais il y a eu peu de problèmes d'aggression des terres agricoles dans cette région. Cependant, dans les sols humides la détérioration de la productivité du sol est courante le long du pipeline, et souvent sur toute l'emprise (de 18 à 30 mètres de large). Culley *et al.*, (1981, 1982) ont signalé d'importantes réductions du rendement en Ontario, 5 ans après l'installation du pipeline sur les terres utilisées pour la culture en lignes. Les dommages causés aux terres de l'est du Canada ont été plus importants que dans les Prairies et semblent être dus aux conditions humides qui prévalaient au cours de la construction et à un gel du sol moins intense ou moins profond. De plus, les cultures en lignes comme le maïs et le soja sont plus sensibles au mauvais état du sol que les cultures de petites céréales dans l'ouest du Canada. Les sols à texture fine (argileux) semblent avoir été perturbés par l'installation du pipeline plus facilement que les sols à texture grossière (sableux).

Tendances

Il y a eu un regain d'intérêt pour le charbon comme combustible pour la production d'électricité et pour d'autres activités industrielles, et cette tendance se poursuivra probablement au cours des prochaines années. Les gisements de charbon les plus économiquement accessibles seront vraisemblablement exploités d'abord, ce qui entraînera la perturbation de vastes superficies de terres agricoles dans les Prairies. Environ 80 % des gisements de charbon peu profonds de l'Alberta se trouvent dans les régions agricoles et environ 65 % de ces terres sont de classe agricole 1 à 4. Une projection faite en 1980 prévoyait que dans les 25 prochaines années environ 5 670 ha de ces terres seraient exploitées chaque année pour répondre à la demande de charbon (Hermans et Goettel, 1980). Si cette estimation est valable, il faut supposer que l'activité houillère augmentera de façon semblable dans les régions agricoles, ou à potentiel agricole, de la Saskatchewan et du Nouveau-Brunswick.

L'installation actuelle de pipelines dans l'est de l'Ontario touche en grande partie de bonnes terres agricoles. Les prolongements des pipelines vers l'est jusqu'à la côte atlantique au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse sont prévus ou en cours de construction. Un grand nombre des sols touchés contiennent des matériaux de sous-sol denses qui détérioreront la couche arable après un mélange inévitable. Vu le mauvais drainage et le temps humide, la majorité du travail sera presque assurément faite dans des conditions d'humidité néfastes pour le sol. Même en prenant de grandes précautions, de nombreux sols le long de l'emprise de ces pipelines seront tassés et fourniront un piètre rendement pendant bien des années après la construction. Il est certain que la construction des pipelines se poursuivra dans l'ouest du Canada, mais aucun problème pédologique sérieux ne semble à craindre dans les zones agricoles méridionales, par contre les terres agricoles des régions septentrionales humides seront probablement perturbées.

Un exemple de l'Ontario et du Québec

Des études faites sur le tronçon de l'oléoduc de Sarnia (Ontario) à Montréal (Québec) caractérisent bien les impacts de la perturbation et du mélange du sol au cours de la construction d'un pipeline (Culley *et al.*, 1981; 1982). Le pipeline, d'un diamètre de 76 cm, a été enfoui à une profondeur de 1,2 m entre septembre 1975 et mars 1976 dans toute une gamme de sols et sous différentes conditions atmosphériques. Les sols perturbés ont été utilisés pour de nombreuses cultures différentes après la construction.

En général, l'effet de l'installation du pipeline a été plus marqué au-dessus de la tranchée que dans la zone de travail adjacente. Les densités apparentes (à sec) du sol dans une zone de limon argileux ont augmenté d'environ 10 % dans l'emprise du pipeline par rapport au champ non perturbé; la conductivité hydraulique du sol a diminué en moyenne de 38 %. La porosité totale du sol a également diminué. Dans cette même région, la résistance du sol à la pénétration a augmenté de 67 % au-dessus de la tranchée et de 50 % dans le reste de la zone de travail comparativement au champ non perturbé. Ces problèmes de tassement n'ont pas été observés dans une zone de sol sableux.

La quantité des matières organiques en surface a été réduite par l'installation du pipeline à cause du mélange du sous-sol à faible teneur en matières organiques avec la couche arable, mélange dans lequel, selon les estimations, 20 à 50 % de couche arable ont été remplacés par du sous-sol. La teneur en substances nutritives de la couche arable de la zone de travail était donc inférieure à celle du sol non perturbé. D'autre part, le pH du sol a été amélioré par le mélange étant donné que le sous-sol avait une plus forte teneur en chaux, ce qui a eu un effet positif sur le rendement de la luzerne, qui ne supporte pas le sol acide et qui a poussé aussi bien après la construction du pipeline qu'auparavant. Cependant, la plupart des autres cultures ont donné de piètres résultats. L'effet le plus important a été observé au cours des premières années après la construction, dans les sols argileux, où les rendements ont diminué jusqu'à 50 %. Après 5 ans, le rendement s'est amélioré considérablement, mais les zones de culture en lignes (maïs, soja), ne produisaient toutefois pas encore autant que les champs non perturbés adjacents.

Culley *et al.*, (1981) ont trouvé que l'endommagement des terres agricoles au cours de l'installation de ce pipeline était moins important lorsque le travail était fait par temps sec. Les effets néfastes étaient également réduits lorsque le travail s'effectuait dans un sol gelé à une profondeur d'au moins 20 cm.

L'effet direct de la construction du pipeline sur le sol n'est qu'un exemple de l'impact de la perturbation des terres sur les régions agricoles. Non seulement les activités minières et les couloirs réservés au transport routier et au transport d'énergie perturbent-ils les terres physiquement, mais ils sectionnent également les propriétés foncières, entravent les activités agricoles et rendent les décisions de gestion plus difficiles pour l'exploitant agricole.

IMPACT ÉCONOMIQUE DE LA DÉGRADATION DES TERRES

Valeur des terres

Nombreux sont les exploitants agricoles qui sont conscients des répercussions économiques de la détérioration des terres. Des millions d'hectares ont simplement été abondonnés après les grandes sécheresses, à cause de l'érosion et des difficultés économiques connexes. Les terres gravement érodées ou salinisées deviennent pratiquement inutilisables. Les exploitants agricoles sont parfois admissibles à des ajustements d'impôt pour compenser les pertes subies par une grave détérioration de leurs terres; par exemple, l'évaluation de l'impôt foncier, en Saskatchewan, fait l'objet de révisions périodiques et des réductions sont faites en cas de salinisation.

Vander Pluym *et al.*, (1981) ont estimé que les terres arides de l'ouest du Canada d'une valeur de 1 500 $/ha en bonne condition ne valent plus que 200 $/ha après la salinisation. Bien que les terres irriguées ne valent pas beaucoup plus que les terres arides lorsqu'elles sont salines, elles valent en bonne condition 2 300 $/ha en moyenne. Les auteurs ont évalué que, dans l'ouest du Canada, la perte totale en valeur des terres par la salinisation pouvait se chiffrer à environ 3 milliards de dollars en valeur de 1981.

La majeure partie de l'érosion actuellement observée dans les terres labourées, partout au Canada, se fait à un rythme qui dépasse de loin celui du renouvellement du sol par météorisa-

tion du matériau d'origine, ce qui entraîne une perte constante du volume des matières organiques dans le sol et des particules fines de minéraux météorisés dont la valeur reste à déterminer. Avec la forme d'agriculture des Prairies, qui dépend encore tellement des matières organiques naturelles pour assurer la croissance des cultures, la perte de 45 % des réserves de matières organiques des terres cultivées (McGill *et al.*, 1981) doit inévitablement avoir réduit la valeur de ces terres par rapport à celles qui sont gardées en prés ou en terres à fourrage pendant de longues périodes.

Il y a très peu de données sur les changements de valeur qui auraient pu résulter de la détérioration des terres dans l'est du Canada. Des engrais sont généralement utilisés pour toutes les grandes cultures, donc l'approvisionnement en substances nutritives des matières organiques ne cause généralement pas de problème. Toutefois, les terres fortement érodées et tassées sont moins attrayantes pour l'acheteur d'une exploitation agricole que les terres bien tenues. Néanmoins, d'autres facteurs comme la proximité des centres urbains, la pente du terrain, la profondeur de la couche arable et le drainage du sol dominent encore au chapitre de la valeur des terres dans les provinces de l'est.

Productivité

Bien que la détérioration des terres ne se réflète pas toujours directement dans la valeur attribuée aux terres, elle a un effet marquant sur la productivité du sol ou sur les déboursés nécessaires au maintien de cette productivité. Voici quelques exemples de l'importance de ces déboursés.

L'érosion élimine les substances nutritives des plantes qui doivent être remplacées immédiatement ou ultérieurement lorsque le rendement risque de diminuer sans un important apport d'engrais. Les régions de culture de la pomme de terre de Nouveau-Brunswick ont des sols tellement appauvris qu'il faut de plus en plus d'engrais pour y maintenir la production.

Stewart et Himelman (1975) ont évalué la perte des substances nutritives par l'érosion dans les champs de pommes de terre de l'Île-du-Prince-Édouard à 28 $/ha. Farrell (1982) a estimé que la perte de sol des terrains en pente dans le sud de la Colombie-Britannique équivalait à 25-30 $/ha en engrais. Cependant, si l'on prend en considération la valeur du volume total de substances nutritives principales et secondaires dans le sol, ces chiffres sont certainement inférieurs à la réalité. Finalement, il faut aussi tenir compte des pertes même lorsqu'il s'agit de substances nutritives qui ne semblent pas rares. La valeur finale peut atteindre de 10 à 20 $ par tonne, soit un ordre de grandeur supérieur aux évaluations précédentes. L'effet à long terme de la perte de sol en ce qui a trait au support physique des plantes et aux capacités de rétention des substances nutritives et de l'humidité doit également être pris en considération. Il est cependant difficile d'évaluer ces facteurs en terme de dollars.

Arsenault (1979) estimait qu'il en coûterait de 125 à 185 $/ha pour protéger les champs de pommes de terre du Nouveau-Brunswick de l'érosion à l'aide d'ouvrages de dérivation parallèle à gradients variables, avec des canaux tapissés d'herbe pour l'évacuation du trop-plein. Les exploitants pourraient récupérer ces coûts en 5 ans grâce à la rétention d'engrais ainsi obtenue.

On a récemment évalué le coût de l'érosion des sols agricoles en Ontario (Wall et Driver, 1982). Une évaluation intensive comté par comté a chiffré à 68 millions de dollars par année les pertes totales dues à l'érosion, dont 40, 45 et 12 % étaient attribuables à la réduction des rendements, à l'exportation des éléments nutritifs du sol et à l'utilisation des pesticides respectivement. On a également estimé que l'érosion des sols coûtait 6 millions par année aux agriculteurs en travaux d'entretien des fossés et des collecteurs.

Jenkins (1982) a mesuré la quantité de sol transporté par le vent dans un fossé routier, au Manitoba, au printemps 1982. Les analyses des substances nutritives disponibles ont indiqué que la valeur minimale de ce sol transporté dépassait 12 000 $, soit environ 390 $/ha. Si toute la quantité des substances nutritives contenues dans les sols et les fines poussières transportés par le vent au-delà des fossés de la route était comprise dans le calcul, il est probable que la valeur de cette perte à long terme serait beaucoup plus considérable.

L'Administration du Rétablissement Agricole des Prairies (1982) a récemment tenté de calculer les avantages probables annuels et cumulatifs découlant de la prise de mesures anti-érosives capables a) de stopper la salinisation des sols, b) de réduire de 50 % l'érosion éolienne et hydrique, et c) de réduire les pertes par lessivage et dénitrification de l'azote en diminuant les superficies en jachère de 5,5 millions d'hectares. Les avantages annuels de ces mesures de conservation des sols ont été évalués à 26, 3 et 41 millions de dollars respectivement, avec un gain cumulatif de 3 224 milliards d'ici l'an 2000.

Vander Pluym *et al.*, (1981) a évalué la perte de productivité des sols des Prairies due à la salinisation à 51,5 millions de dollars annuellement en revenus perdus dans les terres arides cultivées, 16 million de dollars annuellement dans les pâturages et 15 millions de dollars annuellement dans les terres irriguées. Ils ont de plus estimé qu'en raison de l'effet multiplicateur, ces pertes, dans l'économie de l'ouest du Canada, représentent un total écrasant de 186 millions de dollars annuellement.

Les coûts de remise en état d'une terre aride salinisée sont difficiles à évaluer, étant donné que chaque site nécessite un traitement différent. Il a déjà été démontré que les jachères d'été peuvent souvent être éliminées sans entraîner de frais supplémentaires et même avec un certain bénéfice en terme de revenus totaux, et que ces bénéfices sont considérablement accrus lorsque cette pratique permet d'assécher des zones salines par la même occasion. S'il est possible de creuser des fossées et de drainer la terre pour évacuer les eaux de surface et éviter une infiltration, cela vaut la peine, car ces travaux se rembourseraient probablement en 2 ou 3 ans (Vander Pluym *et al.*, 1981). La culture de plantes fourragères dans les zones salinisées serait probablement aussi rentable, mais les problèmes soulevés par le manque de marché, de main-d'oeuvre, d'espace de stockage, etc. rendent cette option attrayante seulement pour les éleveurs de bétail.

Hoyt *et al.*, (1981) on estimé que la perte de productivité due à l'acidification des sols en Alberta pourrait atteindre 85 millions de dollars annuellement d'ici 1985, si des mesures appropriées ne sont pas prises. Ils ont calculé que les agriculteurs pourraient se procurer de la chaux pour environ 30 à 40 $/t, et qu'ils pourraient récupérer ces sommes approximativement en 2 ans grâce à des rendements accrus. La chaux est déjà disponible sur la côte ouest et dans l'est du Canada. Néanmoins, elle coûte environ 20 $/t aux exploitants agricoles à qui il en faut environ 500 kg/ha/année, ce qui augmente les coûts de production.

Le tassement du sol dans l'est du Canada augmente les coûts des labours et des engrais, et diminue le rendement des cultures comme celles de la pomme de terre, du soja et du maïs. Il n'existe cependant que très peu de données pour évaluer les coûts en termes de perte de productivité ou d'augmentation de la consommation d'énergie et d'engrais. Néanmoins, ces coûts sont inévitables si les agriculteurs continuent à pratiquer la monoculture commerciale. D'autre part, une plus grande utilisation de l'assolement basé sur des cultures moins rentables, comme les plantes fourragères et les petites céréales, en vue d'éviter des problèmes de tassement ou d'érosion du sol, peut être économiquement désastreuse pour bien des exploitants agricoles.

La détérioration du sol est, en grande partie, une conséquence de l'état de l'économie agricole: les agriculteurs ne voient pas ce qu'ils ont à gagner à conserver pour l'avenir une terre qu'ils ne seront probablement plus capables d'exploiter. Souvent d'ailleurs, à cause des pressions économiques immédiates, ils sont incapables d'intervenir. En outre, beaucoup d'enfants d'agriculteurs délaissent la terre; les parents ne sont donc plus aussi intéressés à conserver leur bien pour les générations futures. Enfin de compte, c'est toute la société qui devra payer le prix de la détérioration des terres ou de la prévention de celle-ci sous forme d'une augmentation du prix des produits alimentaires.

Coûts écologiques

Les coûts écologiques associés aux activités humaines sont presque impossibles à calculer. Voici brièvement quelques-unes des conditions environnementales sur lesquelles la détérioration des terres agricoles peut avoir des effets néfastes: La qualité de l'eau est souvent grandement diminuée par les sédiments transportés dans les cours d'eau et les lacs par érosion.

L'érosion éolienne est comprise dans ce processus étant donné que la majeure partie des sols enlevés par le vent sont déposés directement dans les cours d'eau ou balayés des cours d'eau et fossés asséchés par les crues printanières. Les sédiments ont un impact direct sur les poissons car ils détériorent les frayères. Les sols érodés transportent des éléments nutritifs et quelquefois des produits chimiques toxiques dont un grand nombre entraînent l'eutrophisation ou la contamination des eaux naturelles. Les pesticides, entraînés par le vent ou par les eaux de ruissellement et l'érosion peu après leur pulvérisation, peuvent provoquer la mort de poissons dans les cours d'eau et les lacs voisins.

En mobilisant les sels qui étaient auparavant assez statiques dans les sous-sol, la salinisation peut entraîner une augmentation des évacuations de sel dans les cours d'eau et les canaux de drainage. Ce fait est généralement plus évident dans les régions où le drainage ou bien l'irrigation sont pratiqués en vue de la remise en état des terres afin d'éliminer l'excès de sel dans le sol.

L'acidification des sols accroît la solubilité de l'aluminium, du manganèse et du fer. Dans les sols acides, ces métaux peuvent atteindre des teneurs toxiques pour les cultures. Ces éléments peuvent également endommager les écosystèmes aquatiques lorsqu'ils sont transportés par percolation dans les cours d'eau et les réseaux de drainage. C'est là l'une des principales causes de préoccupation au sujet des pluies acides, principalement pour les régions où les sols sont naturellement mal tamponnés et où la chaux n'est normalement pas utilsée.

La détérioration des terres agricoles peut entraîner un épandage excessif d'engrais et l'utilisation de terres marginales pour assurer le maintien de la production. Lorsque cette pratique est largement répandue, l'habitat de la faune peut être gravement perturbé ou même détérioré par les sédiments et les produits chimiques.

Il est impossible de calculer la valeur en dollars de ces impacts environnementaux et autres sur les terres agricoles. Il reste à espérer que l'éducation et la conscientisation amèneront les agriculteurs et les responsables de la gestion agricole à réduire les effets secondaires de la détérioration des terres agricoles.

LOIS ET OPTIONS POLITIQUES POUR LA LUTTE CONTRE LA DÉTÉRIORATION DES TERRES

Depuis toujours les exploitants agricoles n'ont été soumis qu'à un minimum de contrôles législatifs relativement à l'utilisation des terres au Canada. Il existe donc très peu d'instruments légaux permettant de modifier les pratiques agricoles pour le bien-être général de la population. Il y a cependant quelques exceptions.

L'Alberta a dans son Soil Conservation Act (1980) une disposition d'urgence en vertu de laquelle les exploitants agricoles peuvent être obligés de mettre en pratique certaines mesures d'urgence, comme les labours à la sous-soleuse pour amener les mottes de terre en surface et empêcher ainsi le charriage du sol. Des poursuites ont rarement été entamées en vertu de cet article, mais la menace est suffisante pour que les agriculteurs réagissent en période de grave érosion éolienne.

La Saskatchewan a récemment promulgué la Drainage Control Act (1981) qui oblige les agriculteurs à se munir de permis avant de faire drainer leurs terres. Par la délivrance ou le refus de ces permis, les autorités provinciales espèrent éviter le genre de situations qui pourraient favoriser l'érosion et la salinisation des sols.

Le Manitoba a également une loi sur l'environnement qui oblige les exploitants agricoles à limiter le brûlage des sols organiques. (Cependant, ces restrictions sont probablement faites plus dans le but de réduire la pollution atmosphérique et le risque d'accidents de la route, dus à la fumée, que de préserver les sols.)

Les dispositions sur la protection de l'habitat de la Loi sur les pêcheries (1976–1977) prévoient que des poursuites judiciaires peuvent être intentées contre des agriculteurs qui laisseraient des sédiments d'érosion du sol endommager l'habitat naturel des poissons. Dans les provinces de l'Atlantique et certaines parties de la Colombie-Britannique, l'application de la Loi relève du gouvernement fédéral, alors qu'elle est de compétence provinciale ailleurs.

La plupart des provinces ont adopté des lois sur l'environnement ayant trait à la lutte contre les dégâts causés par les sédiments d'érosion, mais il s'est avéré généralement difficile de les appliquer à des situations rencontrées en agriculture.

Les pesticides sont régis par une loi fédérale, et il est possible de les retirer rapidement du marché en cas de problèmes de toxicité ou de pollution du sol.

La plupart des provinces ont des lois régissant l'élimination des boues d'égout et certaines d'entre elles ont même émis des directives visant à éviter l'accumulation dangereuse de contaminants dans les sols.

Bien que ces exemples ne couvrent pas toutes les mesures possibles qui peuvent être prises en vertu des lois existantes, elles donnent une bonne indication du genre limité d'options dont disposent ceux qui désirent modifier les pratiques agricoles.

Les mesures incitatives des politiques de production et de commercialisation, au niveau fédéral et provincial, sont probablement plus efficaces que les mesures législatives. Par exemple, le programme Lower Inventories of Tomorrow (LIFT) des années 1970-71 a eu un effet considérable (et probablement négatif) sur les terres agricoles des Prairies en augmentant la superficie consacrée aux jachères d'été. Les superficies consacrées à la culture des céréales, des plantes oléagineuses et fourragères peuvent être modifiées à la suite d'un changement des contingents commerciaux, des tarifs de transport, des restrictions à l'importation, des programmes d'assurance des récoltes, etc.

Les subventions et les mesures incitatives à la lutte contre l'érosion peuvent améliorer la conservation du sol. Par exemple, en vertu de la Loi de 1970 sur le rétablissement agricole des Prairies, des arbres, sont offerts aux agriculteurs qui désirent établir des brise-vent. L'Ontario a un «Farm Productivity Incentive Program» (programme d'amélioration de productivité agricole) en vertu duquel les fermiers peuvent obtenir des subventions pour l'application de mesures de lutte contre l'érosion, comme la construction de terrasses et de canaux tapissés d'herbe. La plupart des provinces ont un programme d'aide financière pour les agriculteurs qui désirent appliquer de telles mesures.

Un programme ou une politique nationale visant à encourager la rotation des cultures, spécialement lorsque des plantes fourragères sont incluses dans cette rotation, constituerait un atout majeur à long terme pour toutes les terres agricoles du pays. Un tel programme pourrait se réaliser si les arrangements de commercialisation, de transport et de traitement étaient modifiés de façon, à rétablir un système de production de bétail dans les fermes mixtes, plutôt que les spécialisations actuelles de grandes cultures et d'élevage intensif qui sont de plus en plus fréquentes. Ainsi, une plus grande quantité de fumier pourrait être épandue sur les sols dont les substances nutritives ont été éliminées, et les teneurs en matières organiques pourraient être mieux assurées. C'est là l'une des rares options à long terme pour la réduction de la détérioration des sols et une meilleure gestion de nos terres agricoles.

Une autre façon de procéder moins directe, mais probablement plus durable, consiste à conscientiser davantage les populations agrico-

les et urbaines sur la nature et l'importance de la détérioration des terres et l'impact de celle-ci sur les futures générations. De plus, si le grand public comprenait mieux les contraintes économiques qui obligent les agriculteurs à exploiter leurs terres à la limite de leurs possibilités, il consentirait probablement à appuyer une gestion agricole plus orientée vers la conservation, même s'il lui faut pour cela payer plus cher pour ses aliments. Nous espérons que finalement une certaine combinaison de mesures comme celles que nous venons de mentionner brièvement parviendront à mettre un terme à la détérioration de nos terres agricoles. Cependant, cet espoir ne se réalisera probablement jamais sans un effort concerté à l'échelle nationale.

Ce texte a été revu en anglais par le Dr Julian Dumanski et le Dr Jack Shields, Institut de recherches sur les terres, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario).

REMERCIEMENTS

L'auteur tient particulièrement à remercier le Dr Julian Dumanski de la Section de l'évaluation et de l'utilisation des terres et le Dr Jack Shields de la Section de l'inventaire des sols, Institut de recherches sur les terres, Agriculture Canada, pour leurs remarques et leurs suggestions hautement appréciées au cours de la rédaction de ce chapitre. L'auteur remercie également Normand Rousseau, du Service aux programmes de recherche, Agriculture Canada, pour la révision en français.

Ce chapitre est la contribution N° 82-55 de l'I.R.T.A.

BIBLIOGRAPHIE

Administration du Rétablissement Agricole des Prairies. 1982. Land Degradation and Soil Conservation Issues on the Canadian Prairies, an Overview. Préparé par la Direction de la conservation des eaux et des sols, Administration du Rétablissement Agricole des Prairies, Ministère de l'Expansion économique régionale. Regina, Saskatchewan.

Alberta. Soil Conservation Act. R.S.A. Chapter S-19. 1980.

Anderson, C.H. 1975. A History of Soil Erosion by Wind in the Palliser Triangle of Western Canada. Historical Series No. 8. Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Arsenault, J.L. 1979. «Soil Conservation System in New Brunswick». Proceedings of Soil Conservation Workshop. pp. 22–31. Tenu le 17–19 avril à Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nouvelle-Écosse.

Baldwin, C.S., et Acton, C.J. 1978. «Soil Erosion by Wind–Nature and Extent.» Notes on Agriculture. vol. 14, n° 3, pp. 8–9. Ontario Agricultural College, University of Guelph. Guelph, Ontario.

Bates, T.E. 1972. Land Application of Sewage Sludge. Report on Project 71-4-1. Canada–Ontario Agreement, Research Report No. 1. Environnement Canada, Ottawa, Ontario et Ministère de l'Environnement (Ontario), Toronto, Ontario.

Bolton, E.F., et Webber, L.R. 1952. «Effect of Cropping Systems on the Aggregation of a Brookston Clay Soil at Three Depths.» Scientific Agriculture. vol. 32, pp.555–558. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Bolton, E.F.; Dirks, V.A.; et Findlay, W.I. 1979. «Some Relationships Between Soil Porosity, Leaf Nutrient Composition and Yield for Certain Corn Rotations at Two Fertility Levels on Brookston Clay.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 59, n° 1, pp.1–9. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Bolton, E.F., et McDonnell, M.M. 1982. «The Effect of Drainage, Rotation and Fertilizer on Corn Yield, Plant Height, Leaf Nutrient Composition and Physical Properties of Brookston Clay Soil in Southwestern Ontario.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 62, n° 2, pp. 297–309. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

British Columbia Ministry of Agriculture. 1979. British Columbia 1978: Agriculture Statistics Yearbook. Victoria, Colombie-Britannique.

Bureau de la statistique du Québec. 1980. «Culture maraîchère–1979.» Direction de la production statistique. Québec, Québec.

Cameron, D.R., *et al.* 1981. «Physical Aspects of Soil Degradation.» Agricultural Land, Our Disappearing Heritage. pp. 186–255. Compte rendu: «18th Annual Alberta Soil Science Workshop» tenu le 24–25 février à Edmonton, Alberta.

Canada. Loi sur les pêcheries. S.C. c.35, s. 5–10 modifiant les articles 30–33: 1976-77.

Canada. Loi sur le rétablissement agricole des Prairies. S.R. c. 214. Chapitre p-17. 1970.

Chepil, W.S., et Woodruff, N.P. 1963. «The Physics of Wind Erosion and Its Control.» Advances in Agronomy. vol. 15, pp. 211-302. American Society of Agronomy. Academic Press. New York, New York.

Clayton, J.S., *et al.* 1977. Soils of Canada, Vol. II, Soil Inventory. Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Coote, D.R., et Ramsey, J.F. 1983. «Quantification of the Effects of Over 35 Years of Intensive Cultivation on Four Soils.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 63, n° 1. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Coote, D.R.; Ramsey, J.F.; et Dumanski, J. 1982. Une évaluation de la dégradation des terres agricoles au Canada. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Coote, D.R., *et al.* 1981. Importance des précipitations acides pour l'agriculture dans l'est du Canada. Direction générale de la recherche. Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Culley, J.L.B., *et al.* 1981. Effets de l'installation d'un oléoduc sur la productivité des terres cultivées en Ontario. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

———, *et al.* 1982. «Recovery of Productivity of Ontario Soils Disturbed by an Oil Pipeline Installation.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 62, n° 2, pp. 267–279. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

de Jong, E., et Button, R.G. 1973. «Effects of Pipeline Installation on Soil Properties and Productivity.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 53, n° 1, pp. 37–47. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Dubé, A. 1975. «L'eau et l'érosion des sols.» Ressources. vol. 6, n° 4, pp. 8–15. Direction générale des eaux, Ministère des richesses naturelles. Gouvernement du Québec. Québec, Québec.

Dubé, A., et Mailloux, A. 1969. «La mesure de l'érosion à Cap-aux-Corbeaux.» Agriculture. vol. 26, n° 1, pp. 32–36. La corporation des Agronomes de la province de Québec. Montréal, Québec.

Dubetz, S.; Kozub, G.C.; et Dormaar, J.F. 1975. «Effects of Fertilizer, Barnyard Manure and Crop Residues on Irrigated Crop Yields and Soil Chemical Properties.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 55, n° 4, pp. 481–490. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Edwards, C.A. 1966. «Insecticide Residues in Soils.» Residue Reviews. vol. 13, pp. 83–132. Springer-Verlag New York Inc. New York, New York.

Farrell, Ann. 1982. «Soil Loss.» Country Life in British Columbia. vol. 68, n° 3, pp. 9–10. Country Life Ltd. White Rock, Colombie-Britannique.

Frank, R.; Ishida, K.; et Suda, P. 1976. «Metals in Agricultural Soils of Ontario.» Revue canadienne de la science du sol - vol. 56, n° 3, pp. 181–196. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Frank, R., *et al.* 1974. «DDT and Dieldrin in Watersheds Draining Tobacco Belt of Southern Ontario.» Pesticides Monitoring Journal. vol. 8, n° 3, pp. 184–201. Federal Working Group on Pest Management. Washington, D.C.

———, *et al.* 1978. Pesticides in Eleven Agricultural Watersheds in Southern Ontario, Canada, 1974-77. Report of Project 4B. Le groupe d'étude de la Commission sur la pollution causée par les activités d'utilisation des terres, Commission mixte internationale. Windsor, Ontario.

Freyman, S., *et al.* 1982. «Yield Trends on Long-term Dryland Wheat Rotations at Lethbridge.» Revue canadienne de phytotechnie. vol. 62, n° 3, pp. 609–619. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Greenlee, G.M.; Pauluk, S.; et Bowser, W.E. 1968. «Occurrence of Soil Salinity on the Dry Lands of Southwestern Alberta.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 48, n° 1, pp. 65–75. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Henry, J.L., et Ballantyne, A.K. 1980. «Soil Salinity: Causes and Projected Trends.» Communication présentée à Saskatchewan Institute of Agrology Annual Meeting. Swift Current, Saskatchewan.

Henry, J.L. et Johnson, W.E. 1977. The Nature and Management of Salt Affected Soils in Saskatchewan. Bulletin. Saskatchewan Department of Agriculture. Saskatoon, Saskatchewan.

Hermans, J.C., et Goettel, A.W. 1980. «The Impact of Surface Mining on Agriculture in Alberta.» Adequate Reclamation of Mined Lands? pp. II.1–II.10. Compte rendu: Symposium tenu le 26–27 mars 1980. Soil Conservation Society of America et Western Agricultural Experiment Stations Co-ordinating Committee on Mine Waste Reclamation (WRCC-21). Billings, Montana.

Himelman, D., et Stewart, N. 1979. «Soil Erosion Studies in Prince Edward Island.» Proceedings of Soil Erosion Workshop. pp. 37–43. Tenu le 17–19 avril, Nova Scotia Agricultural College, à Truro, Nouvelle-Écosse.

Hoyt, P.B.; Nyborg, M.; et Ukrainetz, H. 1981. «Degradation by Acidification.» Agricultural Land, Our Disappearing Heritage. pp. 41–71. Compte rendu: «18th Annual Alberta Soil Science Workshop tenu le 24–25 février à Edmonton, Alberta.

Irwin, Ross W. 1976. Soil Subsidence of the Holland Marsh. Engineering Technical Publication 126-34. School of Engineering, University of Guelph. Guelph, Ontario.

_____. 1977. «Subsidence of Cultivated Organic Soil in Ontario.» Journal of the Irrigation and Drainage Division. vol. 103, nº IR2, pp. 197–205. American Society of Civil Engineers. New York, New York.

Jenkins, G.C. 1968. «A Look at Erosion on Some Manitoba Soils.» Proceedings, 12th Annual Manitoba Soil Science Meeting. pp. 98–104. Tenu le 4–5 décembre à Winnipeg, Manitoba.

_____. 1982. What Cost Erosion? (non publié) Manitoba Department of Agriculture. Winnipeg, Manitoba.

Johnston, A.; Dormaar, J.F.; et Smoliak, S. 1971. «Long-Term Grazing Effects on Fescue Grassland Soils.» Journal of Range Management. vol. 24, nº 3, pp. 185–188. Society for Range Management. Denver, Colorado.

Johnson, W.E. 1961. «Wind and Water Erosion in Western Canada.» Agricultural Institute Review. vol. 16, nº 3, pp. 12–15. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Ketcheson, J.W. 1980. «Long-Range Effects of Intensive Cultivation and Monoculture on the Quality of Southern Ontario Soils.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 60, nº 3, pp. 403–410. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Ketcheson, J.W., et Webber, L.R. 1978. «Effects of Soil Erosion on Yield of Corn.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 58, nº 4, pp. 459–463. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Khan, S.U.; Marriage, P.B.; et Sardak, W.J. 1975. «Residues of Paraquat in an Orchard Soil.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 55, nº 1, pp. 73–75. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

King, R.R. 1972. Okanagan pH Survey Report. British Columbia Department of Agriculture. Kelowna, Colombie-Britannique.

Kolstee, H. 1979. «On-Farm Management of Soil Erosion.» Proceedings of Soil Erosion Workshop. pp. 69–70. Tenu le 17–19 avril, Nova Scotia Agricultural College, à Truro, Nouvelle-Écosse.

Lau, O.L., et Peters, Shirlene. 1980. «Variations in Soil pH Level in B.C. Apple Orchards.» Country Life in British Columbia. vol. 66, nº S, pp. 14–15. Country Life Ltd. White Rock, Colombie-Britannique.

MacDonald, K.B. 1982. Les sols acides et le chaulage en agriculture. Publication 1731/F. Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Manitoba. The Fires Prevention Act. R.S.M. Chapitre F 80. 1970.

Marshall, Ian B. 1982. L'exploitation minière, l'utilisation des terres et l'environnement: vue d'ensemble sur le Canada. Série de l'utilisation des terres au Canada nº 22. Direction générale des terres, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Martel, Y.A., et Deschênes, J.M. 1976. «Les effets de la mise en culture et de la prairie prolongée sur le carbone, l'azote et la structure de quelques sols du Québec.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 56, nº 4, pp. 373–383. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Martel, Y.A., et MacKenzie, A.F. 1980. «Long-Term Effects of Cultivation and Land Use on Soil Quality in Quebec.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 60, nº 3, pp. 411–420. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Martel, Y.A., et Paul, E.A. 1974. «Effects of Cultivation on the Organic Matter of Grassland Soils as Determined by Fractionation and Radiocarbon Dating.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 54, nº 4, pp. 419–426. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Mathur, S.P.; Hamilton, H.A.; et Levesque, M.P. 1979. «The Mitigating Effect of Residual Fertilizer Copper on the Decomposition of an Organic Soil *in Situ*.» Soil Science Society of America Journal. vol. 43, nº 1, pp. 200–203. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

McGill, W.B., *et al.* 1981. «Soil Organic Matter Losses.» Agricultural Land, Our Disappearing Heritage. pp. 72–133. Compte rendu: «18th Annual Alberta Soil Science Workshop» tenu le 24–25 février à Edmonton, Alberta.

Michalski, L.A. 1977. «Organic Soils in Eastern Manitoba.» Proceedings, 21st Annual Manitoba Soil Science Meeting. pp. 121–126. Tenu le 7–8 décembre à Winnipeg, Manitoba.

Millette, J.A. 1976. «Subsidence of an Organic Soil in Southwestern Quebec.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 56, nº 4, pp. 499–500. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Millette, J.A., *et al.* 1980. «Subsidence as Related to Organic Soil Management in Quebec .» Canada Agriculture. vol. 25, nº 4. pp. 24–25. Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

_____, *et al.* 1982. «An Evaluation of the Drainage and Subsidence of some Organic Soils in Quebec.» La revue de la société canadienne du génie rural. vol. 24, nº 1, pp. 5–10. Société canadienne de génie rural. Ottawa, Ontario.

Mirza, C., et Irwin, R.W. 1964. «Determination of Subsidence of an Organic Soil in Southern Ontario.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 44, nº 2, pp. 248–253. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Nicholaichuk, W., et Read, D.W.L. 1978. «Nutrient Runoff from Fertilized and Unfertilized Fields in Western Canada.» Journal of Environmental Quality. vol. 7, nº 4, pp. 542–544. American Society of Agronomy, Crop Science Society et Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

Ontario, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, et Ministère de l'Environnement. 1981. Guidelines for Sewage Sludge Utilization on Agricultural Lands. Toronto, Ontario.

Raghavan, G.S.V., *et al.* 1976. «Development of Compaction Patterns due to Machinery Operations in an Orchard Soil.» Revue canadienne de phytotechnie. vol. 56, nº 3, pp. 505–509. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Ridley, A.O., et Hedlin, R.A. 1968. «Soil Organic Matter and Crop Yields as Influenced by the Frequency of Summerfallowing.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 48, n° 3, pp. 315–322. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Ripley, P.O., *et al.* 1961. Soil Erosion by Water. Publication 1083. Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Rutherford, G.K., et Bray, C.R. 1979. «Extent and Distribution of Soil Heavy Metal Contamination near a Nickel Smelter at Coniston, Ontario.» Journal of Environmental Quality. vol, 8, n° 2, pp. 219–222. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America et Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.

Saini, G.R., et Grant, W.J. 1980. «Long-Term Effects of Intensive Cultivation on Soil Quality in the Potato-Growing Areas of New Brunswick (Canada) and Maine (U.S.A.).» Revue canadienne de la science du sol. vol. 60, n° 3, pp. 421–428. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Saini, G.R., et Hughes, D.A. 1972. «Soil Compaction Reduces Potato Yields.» Canada Agriculture. vol. 17, n° 4, pp. 28–29. Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Saskatchewan. Drainage Control Act. R.S.S. Chapitre D–33.1. 1981.

Shields, J.A., et Nowland, J.L. 1975. «Additional Land for Crop Production: Canada.» Proceedings of the 30th Annual Meeting. pp. 45–60. Tenu le 10–13 août. Soil Conservation Society of America. San Antonio, Texas.

Smoliak, S.; Dormaar, J.F.; et Johnston, A. 1972. «Long-Term Grazing Effects on *Stipa Bouteloua* Prairie Soils.» Journal of Range Management. vol. 25, n° 4, pp. 246–250. Society for Range Management. Denver, Colorado.

Sommerfeldt, T.G. 1977. «The Lull Before the Storm.» Dryland Salinity and Seepage in Alberta. pp. 1–4. Compte rendu: «Alberta Dryland Salinity Committee.» Alberta Agriculture. Edmonton, Alberta.

Soon, Y.K., et Bates, T.E. 1981. Land Disposal of Sewage Sludge. Report of Projects 72-5-17 et 78-012-31. Préparé par University of Guelph pour le Ministère de l'Environnement. Toronto, Ontario.

Sowden, F.J., et Atkinson, H.J. 1968. «Effects of Long-Term Annual Additions of Various Organic Amendments on the Organic Matter of a Clay and a Sand.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 48, n° 3, pp. 323–330. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Staple, W.J.; Lehane, J.J.; et Wenhardt, A. 1960. «Conservation of Soil Moisture from Fall and Winter Precipitation.» Revue canadienne de la science du sol. vol. 40, n° 1, pp. 80–88. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Statistique Canada. 1982. Recensement de l'agriculture–1981. Catalogue 96-901. Ottawa, Ontario.

Stewart, D.K.R., et Chisholm, D. 1971. «Long-Term Persistence of BHC, DDT and Chlordane in a Sandy Loam Soil.» Revue canadienne oe la science du sol. vol. 51, n° 3, pp. 379–383. L'Institut Agricole du Canada. Ottawa, Ontario.

Stewart, N.E. 1976. Erosion of Agricultural Lands in the Maritime Provinces. Rapport préparé pour Atlantic Provinces Agricultural Services Coordinating Committee Task Force on Soils. Department of Agriculture an Forestry. Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard.

Stewart, N.E., et Himelman, D.E. 1975. «Soil Erosion Studies on Prince Edward Island. (non publié) Communication présentée à »1975 Meeting - American Society of Agricultural Engineering« tenu le 17–20 août. Cornell University. Ithaca, New York.

Thirgood, J.V. 1978. «Extent of Disturbed Land and Major Reclamation Problems in Canada.» Reclamation of Drastically Disturbed Lands. pp. 45–68. Édité par F.W. Schaller et P. Sutton. Compte rendu d'une conférence tenu en août à Wooster, Ohio. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

Thompson, L.B. 1953. «The PFRA and a New Prairie Agriculture.» Empire Journal of Experimental Agriculture. vol. 21, n° 84, pp. 289–297. Oxford University Press. London, England.

Toogood, John A. 1963. «Water Erosion in Alberta.» Journal of Soil and Water Conservation. vol. 18, n° 6, pp. 238–240. Soil Conservation Society of America. Ankeny, Iowa.

_____. 1974. «The Effect of Pipeline Installations of Crop Yield.» Proceedings of a Workshop on Reclamation of Disturbed Lands in Alberta. pp. 15–18. Tenu le 27–28 mars. Alberta Environment et Environnement Canada. Edmonton, Alberta.

_____. 1977. «Wind and Water Erosion Problems in Alberta.» Proceedings of Soil Conservation Workshop. pp. 11–24. Alberta Agriculture. Red Deer, Alberta.

Vander Pluym, H.S.A.; Patterson, B.; et Holm, H.M. 1981. «Degradation by Salinization.» Agricultural Land, Our Disappearing Heritage. pp. 9–40. Compte rendu: «18th Annual Alberta Soil Science Workshop» tenu le 24–25 février à Edmonton, Alberta.

Van Schaik, J.C. 1974. «Water Balance Under Summerfallow in the Dark Brown Soil Zone.» Canadex No. 553. Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Van Vliet, L.J.P.; Wall, G.J.; et Dickinson, W.T. 1978. «Soil Erosion from Agricultural Land in the Canadian Great Lakes Basin.» Final Reports of Projects 16 and 17, Agricultural Watershed Studies. Le groupe d'étude de la Commission sur la pollution causée par les activités d'utilisation des terres, Commission mixte internationale. Windsor, Ontario.

Veinot, R. 1978. Organic Matter and pH Levels in Prince Edward Island Farm Soil Samples 1972-77. Soil and Feed Test Laboratory Technical Services Branch, Department of Agriculture and Forestry. Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard.

Wall, G.J., et Driver, G. 1982. Cropland Soil Erosion, Estimated Cost to Agriculture in Ontario. Préparé par Ontario Institute of Pedology et le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (Ontario). Guelph, Ontario.

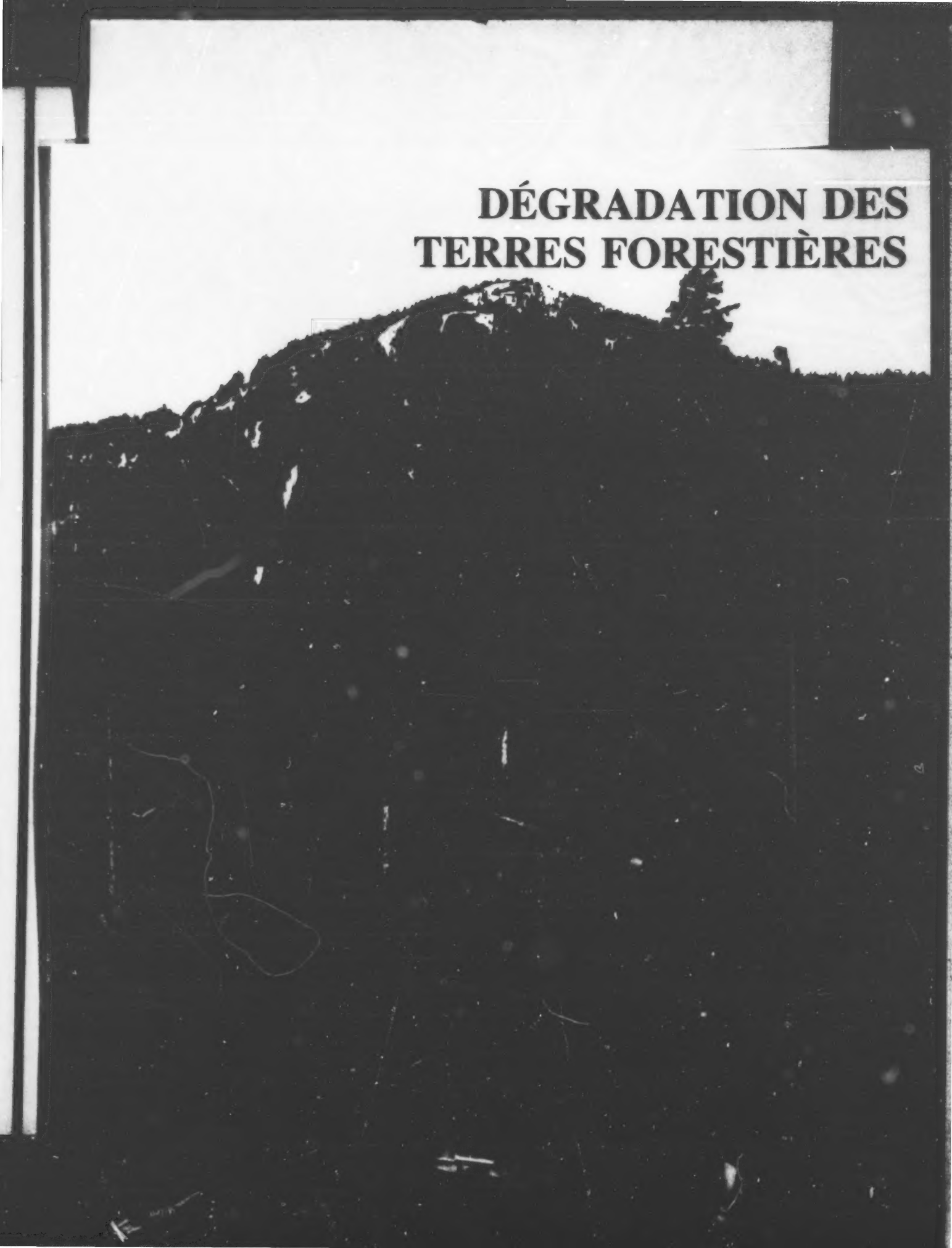
Wang, C., et Coote, D.R. 1981. Classes de sensibilité des terres agricoles à l'action prolongée des précipitations acides dans l'est du Canada. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. Ottawa, Ontario.

Webber, L.R., éd. 1961. Progress Report, 1960. Department of Soil Science, University of Guelph. Guelph, Ontario.

_____. 1964. «Soil Physical Properties and Erosion Control.» Journal of Soil and Water Conservation. vol. 19, n° 1, pp. 28–30. Soil Conservation Society of America. Ankeny, Iowa.

Webber, M.D.; Schmidke, N.W.; et Coehen, D.B. 1978. «Sewage Sludge Utilization on Land - the Canadian Scene.» Communication présentée à «Conference on Utilization of Sewage Sludge on Land» tenu le 10–13 avril. Oxford, United Kingdom.

DÉGRADATION DES TERRES FORESTIÈRES



MÉTHODES DE FORESTERIE ET CONTRAINTES EXERCÉES SUR LES TERRES FORESTIÈRES CANADIENNES

G.F. Weetman*

* *Dr. Weetman est professeur à la Faculté de foresterie de l'Université de la Colombie-Britannique, Vancouver (Colombie-Britannique).*

TABLE DES MATIÈRES

	Page
MODIFICATIONS DE L'UTILISATION DES TERRES FORESTIÈRES AU CANADA	281
Modèle des perturbations	281
Principes de stabilité et d'équilibre et leur perception	281
Historique de l'exploitation forestière et préoccupations relatives à ses impacts	282
Dégradation des terres et épuisement des ressources entraînés par les méthodes d'exploitation forestière	286
IMPACT DES CONTRAINTES DE L'UTILISATION DES TERRES FORESTIÈRES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE	288
Terre-Neuve	288
Provinces Maritimes	291
Forêts du Bouclier canadien — depuis le Québec en direction ouest jusqu'en Saskatchewan	293
Région des Grands lacs et du Saint-Laurent—Ontario et Québec	297
Forêts-parcs boréales et de peuplier faux-tremble des Prairies — Manitoba, Saskatchewan et Alberta	299
Forêts des régions montagneuses	300
Intérieur de la Colombie-Britannique et de l'Alberta	300
Région côtière de la Colombie-Britannique	301
Région au nord du 60e et Nouveau-Québec	304
QUESTIONS PARTICULIÈRES	305
Récolte et fertilité des sites	305
Récolte et régénération	307
Récoltes et valeurs panoramiques	310
Aménagement paysager des forêts	310
Incidences de l'accroissement des mesures de lutte contre les incendies	311
Exploitation des forêts de haute altitude	312
Incidences sur la faune	314
Réserves écologiques	315
RÉGLEMENTATION ET CONTRÔLE DES MÉTHODES D'EXPLOITATION FORESTIÈRE	317
ÉTAT SOMMAIRE DE LA SITUATION	319
REMERCIEMENTS	320
GLOSSAIRE	321
BIBLIOGRAPHIE	322

CARTES

		Page
1.	Régions forestières du Canada	289
2.	Régions physiographiques principales	295
3.	Zones de sols et régions principales	297
4.	Modifications de la répartition du cerf de Virginie de 1620 à 1975 et répartition actuelle du caribou des bois en Ontario	298
5.	Répartition de l'orignal en Ontario	299
6.	Aperçu général des principaux problèmes forestiers du Québec	300

FIGURES

1.	Relation entre les contraintes positives ou négatives perçues des terres forestières et les objectifs d'utilisation des terres et perturbations au niveau de la forêt	287
2.	Cheminements de la succession après un incendie et l'exploitation forestière dans les forêts de l'intérieur de Terre-Neuve	290
3.	Composantes de l'étude des interactions poissons – foresterie dans les îles de la Reine-Charlotte (Colombie-Britannique)	302
4.	Interactions potentiellement nuisibles entre les méthodes d'aménagement forestier et la dégradation du site – paramètres connexes	303
5.	Effets d'une activité de sylviculture sur un objectif de la qualité de l'eau	303
6.	Modifications techniques du rendement des peuplements forestiers causées par des changements des rendements naturels historiques	308
7.	Répartition des classes d'âges : début et fin de la décennie 15	310
8.	Sources actuelles d'approvisionnement en bois des usines situées dans la région d'approvisionnement en bois de l'Okanagane	310
9.	Coûts et avantages des solutions d'aménagement forestier dans la région d'approvisionnement en bois de l'Okanagane	311
10.	Allégement de la dégradation visuelle du paysage par son aménagement paysager	314
11.	Effets de l'élimination des arbres sur les réserves d'énergie alimentaire de la faune	316
12.	Effets de l'élimination des arbres sur les quantités d'azote et d'énergie de la broutille	316
13.	Effets de l'élimination des arbres sur la quantité de couverts de refuge et d'abris à la disposition de la faune	317
14.	Effets de l'élimination des arbres sur le nombre d'aires de nidification pour certaines espèces d'oiseaux	317
15.	Incidences de l'exploitation forestière sur l'environnement d'eau douce	318
16.	Incidences de la foresterie sur les environnements estuariens et littoraux	318

TABLEAUX

1.	Relation entre les incidences éventuelles de la récolte de la biomasse forestière	284
2.	Effets de la construction routière sur l'environnement aquatique et terrestre	293
3.	Lignes directrices pour minimiser les perturbations du sol causées par les activités d'exploitation forestière dans les bassins versants	301
4.	Activités sylvicoles et connexes et incidences potentiellement nuisibles des ressources concomitantes sur la qualité de l'eau	304
5.	Éléments nutritifs éliminés dans la biomasse récoltée par des méthodes d'exploitation intensive, exprimés par rapport aux apports totaux, aux flux nets et aux groupements de sols (Peuplement d'épinette rouge – sapin baumier de tout âge)	307
6.	Lignes directrices sur la coupe rase aux États-Unis : lignes directrices de Church relatives aux terres fédérales, 1972	309
7.	Extraits de la Loi de l'aménagement des forêts nationales, 1976	312
8.	Relation entre la vulnérabilité du paysage et les critères de qualité visuelle	312

MODIFICATIONS DE L'UTILISATION DES TERRES FORESTIÈRES AU CANADA

Modèle des perturbations

Les forêts du Canada subissent des changements continus. Chaque perturbation entraîne un phénomène de succession. De tout temps, les incendies ont constitué la principale cause de détérioration. Seules certaines forêts difficiles à incendier, comme les forêts de feuillus d'ombre de l'est du Canada, les futaies ou les forêts ombrophiles de la côte ouest, ont réussi à atteindre l'étape de forêts-climax. Celles-ci constituent des groupements stables, en équilibre avec leur milieu, qui ne subissent aucun changement notable à moins d'être gravement perturbées. Ces forêts, qui s'étendent sur de vastes superficies, se composent d'arbres âgés, matures et surâgés (au stade du déclin). Les autres types de forêts se composent d'arbres de classes d'âges différentes en raison des bouleversements subis auparavant.

Le rôle des incendies dans la succession des forêts a fait l'objet d'études approfondies ainsi que de nombreux symposiums et conférences. Les opinions sur les incendies de forêt ont changé. Certes, elles peuvent causer des dommages considérables, mais elles peuvent également avoir des effets bénéfiques et servir d'outil de gestion en foresterie, par exemple pour préparer les terres en vue de la restauration forestière naturelle ou artificielle, pour éviter les accumulations excessives de combustible sur la couverture morte, pour lutter contre les insectes et les maladies, etc. (Service canadien des forêts, 1977; United States Department of the Interior, 1979; United States Forest Service, 1981).

Avant que les blancs viennent coloniser le Canada, les Indiens avaient recours au brûlage pour entretenir des prairies, défricher des terres en vue de l'ensemencement du maïs, chasser le gibier, favoriser la croissance des bleuets et pour de nombreuses autres raisons. Les premiers explorateurs ont observé de vastes incendies de forêt. Des tempêtes et des ouragans ont dévasté de grandes zones forestières. Les infestations périodiques par les insectes ont également détruit d'immenses zones boisées; pendant des siècles, la tordeuse des bourgeons de l'épinette a ravagé de nombreuses forêts de sapin baumier (Lortie, 1979). Dans certaines régions du Canada, ce cycle était fréquent; il se produisait tous les 20 ou 30 ans dans les régions forestières très exposées. Ailleurs, comme dans les forêts de la côte ouest ou dans certaines forêts de la Nouvelle-Angleterre, les changements étaient moins fréquents, et les cycles s'étendaient sur 400 ou 800 ans (Lorimer, 1977). Avant l'arrivée des blancs, il existait un équilibre dynamique entre les perturbations et le processus de régénération des forêts par succession.

Les blancs ont bouleversé cet équilibre en modifiant la fréquence et la nature des perturbations, mais les processus de récupération sont demeurés identiques. Les plus graves répercussions touchent les écosystèmes forestiers qui, à l'origine, subissaient rarement des perturbations et qui ont été soumis à de grands bouleversements causés par l'homme (par exemple les forêts de la côte ouest et les forêts de feuillus d'ombre). Parmi les activités nuisibles de l'homme, la coupe rase constitue le plus grand fléau. Cette méthode d'exploitation forestière a un fort impact visuel, mais il est essentiel d'examiner les processus inhérents à la restauration ainsi que leurs modifications en vue d'évaluer, de façon systématique, les répercussions de cette technique sur les terres. L'importation accidentelle de maladies et d'insectes exotiques, contre lesquels nos forêts n'avaient aucun moyen de défense, a sans doute eu des conséquences plus graves que l'exploitation forestière. Parmi les maladies et les insectes importés, mentionnons la maladie hollandaise de l'orme, la brûlure du châtaignier, la rouille vésiculeuse et le charançon du pin blanc, le puceron lanigère du sapin, la tenthrède du mélèze et la maladie corticale du hêtre. Dans les cas les plus graves, ces maladies et insectes ont presque détruit une espèce précieuse d'arbre indigène, le châtaignier d'Amérique.

Principes de stabilité et d'équilibre et leur perception

Les théories en matière de succession dans les forêts ou la perception de ces changements constitue un facteur important, car elles influent sur la réaction du public vis-à-vis des techniques d'aménagement forestier. Certains écologistes ont comparé la stabilité d'une forêt aux mouvements d'un pendule, qui oscille après déplacement et revient à son état d'équilibre. Clements et d'autres scientifiques, adeptes de cette théorie, croyaient qu'une forêt non perturbée ne subit aucun changement et qu'une forêt perturbée passe par une série d'étapes bien précises et atteint finalement un stade fixe unique dans une région donnée (Odum, 1971). Cette hypothèse du «monoclimax», c'est-à-dire d'un état unique d'équilibre accompagné d'une certaine résistance aux changements et d'une certaine capacité de récupération, se fondait sur un principe selon lequel l'état d'équilibre doit s'établir suivant un cheminement bien précis. D'après cette hypothèse, les perturbations sont «nuisibles» ou «dommageables», et l'équilibre constitue l'état «naturel» et optimal d'une forêt.

Les analyses polliniques effectuées dans le cadre d'études récentes sur l'évolution des forêts depuis la dernière glaciation (il y a environ 10 000 ans) indiquent que les changements d'ordre climatique ont influé sur l'intégrité et l'équilibre de chaque groupement. Les forêts subissent encore des changements en raison du phénomène de la migration, c'est-à-dire du déplacement des populations. Les données actuelles laissent voir que l'équilibre peut se manifester sous diverses formes et qu'il n'existe pas de modèle déterministe unique en ce qui concerne la régénération forestière. De nombreuses forêts, par exemple les forêts de pin gris et de pin tordu latifolié, nécessitent des perturbations périodiques pour maintenir leur état naturel. Les lois de la nature ne précisent pas nécessairement les conditions optimales d'équilibre ou de l'état approprié d'une forêt (Botkin, 1980). Par conséquent, il n'est pas forcément mauvais que l'intervention de l'homme entraîne la formation d'un nouveau type de forêt ou d'une forêt qui, selon les normes antérieures, est «artificielle». On jugera peut-être que les structures et fonctions ainsi que la faune et la flore du nouvel écosystème sont de qualité «supérieure» ou «inférieure» à celle d'une forêt naturelle.

Un autre problème de perception au sujet de la contrainte des forêts concerne les principes de monoculture et de «stabilité» associés à l'abondance des espèces (un grand nombre d'espèces). Colinvaux (1978) a souligné que les naturalistes sont fort attirés par la théorie selon laquelle les systèmes biologiques complexes sont stables, puisqu'elle est conforme à l'idée intuitive que les forces de la nature sont bien équilibrées. L'association entre la complexité et la stabilité se fonde sur des modèles mathématiques, des théories informatiques et des boucles de rétroaction.

Photo 1. 1926, Québec: traineaux tirés par des chevaux, utilisés pour transporter les grumes jusqu'au bord des cours d'eau.
PA-44055/Archives Publiques Canada

Colinvaux signale que, d'après les modèles mathématiques, il n'existe pas de relations simples entre la complexité d'une taxinomie et la stabilité des populations; en effet, il se produit souvent l'inverse. Le transfert de l'énergie alimentaire entre les plantes et les animaux d'une chaîne trophique ne s'effectue pas de la même façon que le transfert des informations dans les systèmes électroniques. Les plantes et les animaux doivent lutter sans cesse pour obtenir de la nourriture et protéger leurs réserves contre les autres plantes et animaux; ils constituent donc des «barrières» aux transferts. Il n'y a pas de boucle de rétroaction libre. Les espèces tentent de résister à la rétroaction ou de la retarder. Les modifications des groupements complexes risquent de favoriser la détérioration. Il ressort que la théorie selon laquelle les groupements complexes sont plus stables que les groupements simples n'est pas valable et a détourné l'attention des véritables problèmes.

En réalité, les forêts canadiennes comportent de vastes peuplements relativement équiennes qui, dans de nombreux cas, se composent de seulement une ou deux espèces dominantes de toute une gamme de classes d'âges, ce qui met en évidence les perturbations antérieures. En fait, la composition des peuplements est liée au climat de la région, aux conditions des sites particuliers ainsi qu'au moment et à la nature des perturbations. Par définition, l'homme fait concurrence aux forces de la nature en exploitant le bois avant sa destruction.

Les pertes réelles de la fertilité du sol, la réduction du nombre d'essences ou les répercussions sur la qualité ou l'âge des arbres et des espèces de flore et de faune associées ainsi que la destruction des habitats uniques ou précieux ou bien la détérioration des zones à valeur panoramique constituent les effets préjudiciables de l'exploitation forestière.

De tout temps, dans le monde entier, de grandes forêts ont été détruites, et ce phénomène se poursuit. La dévastation des forêts méditerranéennes a été causée par l'érosion, la baisse de la fertilité du sol et la réduction du nombre d'espèces d'arbres et d'animaux. Sur de vastes superficies, les broussailles ont remplacé les forêts (Thirgood, 1981; Hughes et Thirgood, 1982). Toutefois, au Canada, l'histoire de l'utilisation des forêts est différente.

Historique de l'exploitation forestière et préoccupations relatives à ses impacts

Pour les colons du Canada, il était essentiel d'abattre de grands pans de forêts en vue de l'exploitation agricole. L'extraction de la potasse des arbres a été la première exploitation commerciale. Dans certaines régions, la totalité des arbres a été coupée et, dans certains comtés du sud de l'Ontario, la forêt ne recouvre plus que 10 % des terres. Depuis leur défrichement, de vastes zones forestières se sont restaurées naturellement grâce à la concentration de la production agricole. Depuis la Confédération, des millions d'hectares de terres agricoles de l'est du Canada ont été abandonnées; à l'heure actuelle, les forêts de ces régions sont généralement de qualité médiocre, et les techniques de gestion, s'il en est, sont impropres (Lussier, 1982)

Au cours du XVIII[e] siècle, l'industrie des grumes de sciage du pin blanc et de l'épinette dans l'est du Canada a pris de l'essor grâce à l'exportation. Le transport des grumes était fait par des chevaux jusqu'aux cours d'eau (Hughson et Bond, 1965). Puisque seuls les arbres de premier choix étaient abattus, le déboisement était restreint. Aucune route n'a été construite, et l'exploitation se faisait généralement en hiver, sur la neige. Il ne reste actuellement que peu de traces du déboisement de cette époque, à l'exception de vieilles souches de pin et des modifications de la composition des espèces. Les effets préjudiciables sur les terres ont été minimes. De même, sur la côte ouest, le débardage à l'aide de boeufs ou de treuils à vapeur a eu un impact négligeable. Toutefois, dans l'est du Canada, l'exploitation continue durant des décennies entières a sans doute entraîné une baisse de la qualité phénotypique de certaines espèces.

Dans l'est du Canada, l'industrie des pâtes et papiers est apparue au cours des années 1920, et jusqu'aux années 1950 le débardage a été fait par des chevaux (traînage au sol ou traîneaux) (photo 1) ou par voie d'eau. Cette époque a également marqué le début de la coupe rase, mais en général les exploitants laissaient sur pied un grand nombre d'arbres non commercialisables ou de petite taille. Très peu de routes ont été construites, et l'exploitation s'effectuait habituellement en hiver. Bien que les effets du transport à l'aide de chevaux aient été limités, d'autres répercussions persistent encore de nos jours: modification de la structure des classes d'âges des forêts et transformation de nombreux peuplements de conifères en forêts mélangées ou de feuillus. Il n'y a presque pas eu de régénération artificielle.

Sur la côte ouest, les années 1920 et 1930 ont constitué l'ère des trains et des débusqueuses à vapeur. Ces engins étaient utilisés sur les sites de faible altitude où abondaient des arbres très âgés de grande valeur. À la fin de la période d'exploitation, on procédait fréquemment au brûlage des rémanents; ces zones de brûlage ont été réoccupées parfois médiocrement par de jeunes peuplements forestiers, et les voies ferrées désaffectées ont été envahies par les arbres. Ces riches écosystèmes avaient une forte capacité de récupération et, dans cette région, la régénération artificielle a également été restreinte.

Les effets de l'exploitation forestière sont devenus davantage évidents au moment de la mécanisation des opérations, particulièrement par

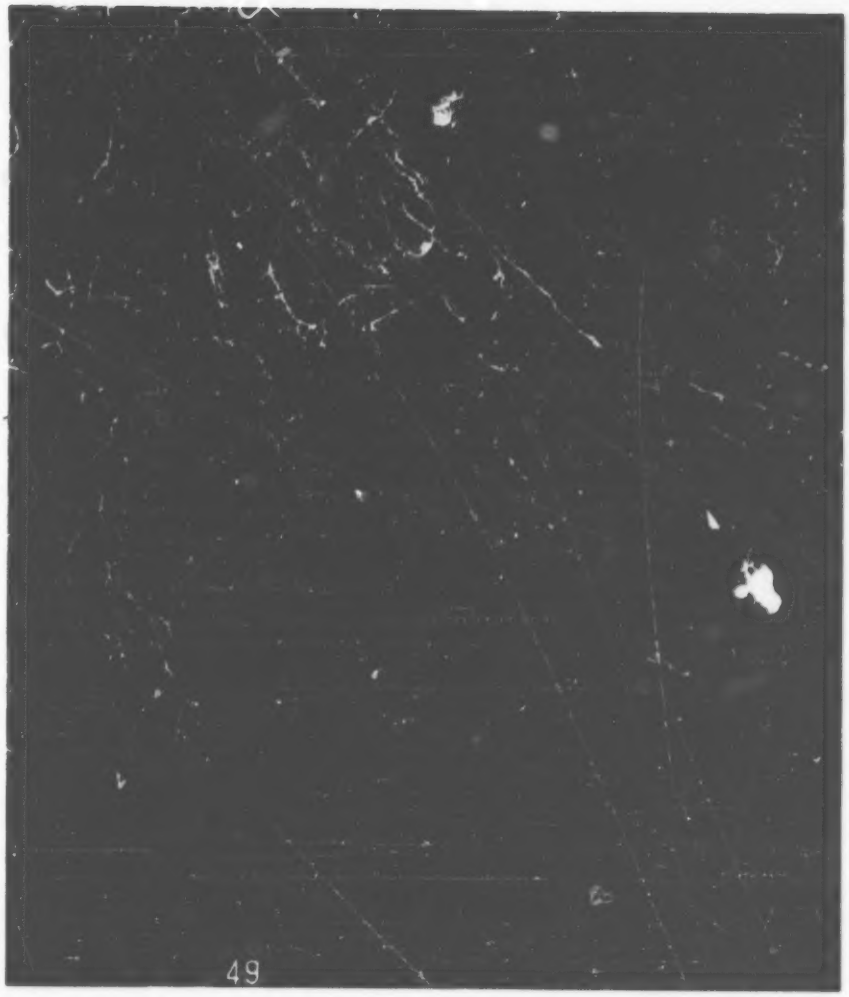


Photo 2. Début des années 1970: exploitation forestière non réglementée, transport par débusqueuse à roues et par camions dans les zones éloignées de la Côte Nord du Québec; il s'agit de forêts d'épinette noire surâgée et équienne exploitées pour le bois de pâte.
A24188-49. Cette photographie aérienne © 1975 Sa Majesté la Reine du chef du Canada est tirée de la collection de la Photothèque nationale de l'air. Elle est reproduite avec l'aimable autorisation d'Énergie, Mines et Ressources Canada.

l'utilisation des camions pour le débardage. Depuis la Seconde Guerre mondiale, de vastes réseaux routiers ont été aménagés dans les forêts vierges du Canada. Au cours des années 1960, les chevaux ont été remplacés par les tracteurs débardeurs à roues, l'abattage à culée noire a commencé, les superficies des coupes rases ont augmenté et le travail a cessé en hiver pour s'effectuer au cours des 8 à 10 mois de hauteur minimale de la neige dans les forêts. Pour le transport des grumes par camions sur de longues distances, il fallait de très bonnes routes. En raison de la nécessité d'investir un capital élevé pour l'achat de l'équipement, de la demande accrue pour les arbres de plus petite taille, du développement du marché de copeaux, des améliorations dans les scieries – comme l'installation de déchiqueteuses et de scies destinées aux arbres de plus petite taille – et de l'expansion économique qui a entraîné la construction de nombreuses scieries, la superficie totale des arbres soumis à la coupe rase au Canada a subi une hausse marquée. Actuellement, environ 800 000 ha de forêts sont exploitées chaque année. De vastes régions incendiées au cours du siècle dernier et des siècles antérieurs portent actuellement de grandes forêts d'arbres mûrs et surâgés qui sont prêtes à être exploitées. Dans l'ouest du pays, les exploitants ont étendu leurs opérations dans de nouvelles zones écologiques de plus haute altitude.

Dès la fin des années 1960, aux États-Unis, des événements du même genre ont fait prendre conscience des effets préjudiciables de la coupe rase sur le milieu. Une multitude d'ouvrages ont été publiés à propos des répercussions des pratiques impropres et de l'inobservation des exigences environnementales dans l'utilisation d'équipements lourds (Wood, 1971; Montgomery et Walker, 1973; Horwitz, 1974); en outre, le Congrès (United States Congress, 1972) et le bureau du Président (Seaton *et al.*, 1973) ont exigé des études de la situation. Aux États-Unis, les préoccupations forestières à l'échelle nationale ont été principalement suscitées par l'aménagement de terrasses sur les versants à des fins de plantage d'arbres dans la forêt nationale de Bitteroot, au Montana (United States Forest Service, 1970).

Au Canada, un souci écologiste similaire, quoique moins intense, a caractérisé les années 1970. Au départ, les préoccupations concernaient la destruction des possibilités de régénération préexistante due au débusquage par traînage au sol. Ensuite, les exportations de substances nutritives de grande valeur hors des forêts par suite de l'exploitation forestière ont soulevé la controverse (Webber *et al.*, 1969; Weetman et Webber, 1972). Plus tard, l'attention du public a été attirée sur les effets préjudiciables de l'utilisation de l'équipement d'exploitation et des techniques de gestion intensive sur l'érosion, l'écoulement des cours d'eau, les populations de poissons, les loisirs, les populations fauniques et les zones d'intérêt panoramique. De nombreuses enquêtes et études ont été effectuées à cet effet (C.D. Schultz & Co. Ltd., 1973; United States Forest Service, 1979*a*). Aujourd'hui, il est fréquent que l'exploitation forestière soit surveillée de plus près dans les zones vulnérables. Les sociétés et les gouvernements ont élaboré des lignes directrices en vue de restreindre les opérations (Toews et Brownlee, 1981*a*), et on a recours à des guides d'aménagement paysager au cours de la planification des coupes rases (Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 1973); Colombie-Britannique Ministry of Forests, 1981). De nos jours, les restrictions d'ordre environnemental en matière d'exploitation forestière sont établies en fonction du degré d'intérêt public et des possibilités d'accès à la région concernée. Les petites exploitations forestières ou celles qui se trouvent dans des zones éloignées ne sont assujetties qu'à des restrictions limitées, particulièrement si elles sont à faible rendement.

Dans certaines parties du Nord canadien, les gestionnaires ont la possibilité soit de brûler ou de laisser pourrir les arbres, soit de mettre en oeuvre les techniques d'exploitation les moins coûteuses. La photo 2 donne les résultats de l'exploitation forestière non réglementée dans le Nouveau-Québec.

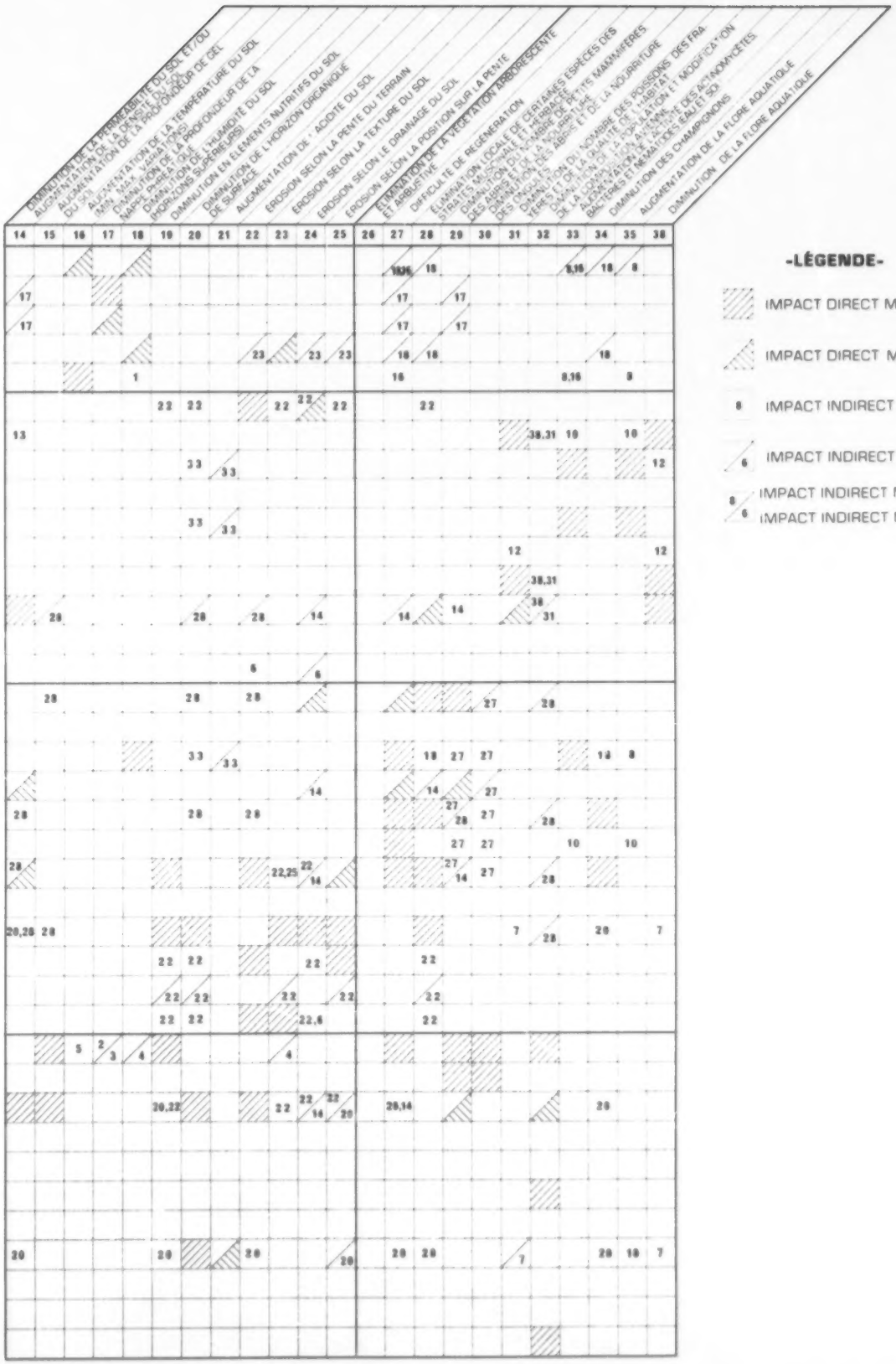
Pour les petits propriétaires, qui ne vivent généralement pas sur leurs terres, les profits risquent actuellement d'être davantage importants que la protection du milieu. Une grande partie des

TABLEAU 1.

Relation entre les incidences éventuelles de la récolte de la biomass forestière

IMPACTS PRIMAIRES PROBABLES			IMPACTS SECONDAIRES PROBABLES																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	36	37
I - II MACRO ET MICROCLIMAT	AUGMENTATION DE LA TEMPERATURE DE L'AIR (MIN., MAX., JOURNALIÈRE)	1										8		8			
	DIMINUTION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION	2						37								17	
	AUGMENTATION DES PRÉCIPITATIONS AU SOL	3						37									17
	AUGMENTATION DU VENT (VÉLOCITÉ ET DURÉE)	4															
	AUGMENTATION DE L'INSOLATION ET MODIFICATION DE L'ALBEDO	5										8		8			
III EAU	AUGMENTATION DU DÉBIT DE L'EAU	6							22								
	AUGMENTATION DE LA TURBIDITÉ DE L'EAU	7									19			13			
	AUGMENTATION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU (MIN., MAX., VARIATIONS)	8							33		19		33				
	AUGMENTATION DE LA CONDUCTIVITÉ	9															
	AUGMENTATION DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS DANS L'EAU	10							33				33				
	AUGMENTATION DE LA DBO	11															
	DIMINUTION DE L'OXYGÈNE DISSOUS	12															
	AUGMENTATION DE LA SÉDIMENTATION	13														14	
	RÉDUCTION DE L'INFILTRATION	36						37									
	AUGMENTATION DE L'EAU DE SURFACE	37															
IV SOL	DIMINUTION DE LA PERMÉABILITÉ DU SOL ET/OU AUGMENTATION DE LA DENSITÉ DU SOL	14															36
	AUGMENTATION DE LA PROFONDEUR DE GEL DU SOL	15															
	AUGMENTATION DE LA TEMPÉRATURE DU SOL (MIN., MAX., VARIATIONS)	16										33	33	8			
	DIMINUTION DE LA PROFONDEUR DE LA NAPPE PHRÉATIQUE	17															36
	DIMINUTION DE L'HUMIDITÉ DU SOL (HORIZONS SUPÉRIEURS)	18															
	DIMINUTION EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS DU SOL	19									10						
	DIMINUTION DE L'HORIZON ORGANIQUE DE SURFACE	20						22,25	22			19				14	
	AUGMENTATION DE L'ACIDITÉ DU SOL	21															
	ÉROSION SELON LA PENTE DU TERRAIN	22										7,19		7			
	ÉROSION SELON LA TEXTURE DU SOL	23						22,25	22								
	ÉROSION SELON LE DRAINAGE DU SOL	24						22	22								
	ÉROSION SELON LA POSITION SUR LA PENTE	25							22								
V - VI FAUNE FLORE ET VÉGÉTATION	ÉLIMINATION DE LA VÉGÉTATION ARBORESCENTE ET ARBUSTIVE	26	5							5		19				3	2
	DIFFICULTÉ DE RÉGÉNÉRATION	27															
	ÉLIMINATION LOCALE DE CERTAINES ESPÈCES DES STRATES MUSCINALE ET HERBACÉE	28						22	22							14	
	DIMINUTION DU NOMBRE DE PETITS MAMMIFÈRES DES ABRIS ET DE LA NOURRITURE	29															
	DIMINUTION DES ABRIS ET DE LA NOURRITURE DES ONGULÉS	30															
	DIMINUTION DU NOMBRE DES POISSONS, DES FRAYÈRES ET DE LA QUALITÉ DE L'HABITAT	31															
	DIMINUTION DE LA POPULATION ET MODIFICATION DE LA COMPOSITION AVIENNE	32															
	AUGMENTATION DE L'ACTIVITÉ DES ACTINOMYCÈTES, BACTÉRIES ET NÉMATODES (EAU ET SOL)	33									19 21			11			
	DIMINUTION DES CHAMPIGNONS	34															
	AUGMENTATION DE LA FLORE AQUATIQUE	35															
	DIMINUTION DE LA FLORE AQUATIQUE	36															

Source: Le Groupe Dryade, 1980.



-LÉGENDE-

IMPACT DIRECT MAJEUR

IMPACT DIRECT MINEUR

8 IMPACT INDIRECT MAJEUR

6 IMPACT INDIRECT MINEUR

8 IMPACT INDIRECT MAJEUR
6 IMPACT INDIRECT MINEUR

arbres des petits boisés sont de qualité médiocre. En général, ce sont les grandes sociétés exploitant en vertu de baux à long terme (au titre de permis d'exploitation de propriété forestière de production et d'accords d'aménagements forestiers) qui accordent le plus d'attention aux questions environnementales, étant donné qu'elles sont surveillées de près par le public et les gouvernements provinciaux.

Actuellement, les préoccupations nationales au sujet des contraintes dues à l'exploitation forestière concernent principalement les retombées économiques futures de la régénération restreinte. Moins du tiers de toutes les forêts coupées chaque année (800 000 ha) est soumis à un traitement, et le nombre de terrains forestiers nus ou mal régénérés (en retard) augmente à un rythme alarmant; en outre, on prévoit des pénuries de bois (F.L.C. Reed & Associates, 1978; 1980; MacGregor, 1982). Dans tout le pays, la sylviculture est très limitée (Weetman, 1981 et 1982).

Sur le plan régional, l'état de certains déblais et bassins versants continue d'être fort préoccupant, particulièrement dans les cas où la population de poissons ou de faune ou la nature sauvage semblent menacées. De nos jours, toutes les contraintes de l'exploitation forestière, qu'elles soient réelles ou perçues, sont évaluées sur les plans économique et environnemental. L'exploitation forestière constitue la principale source de revenu dans la grande partie du Canada. La tendance actuelle en ce qui concerne la tenure à bail sur les terres provinciales de la Couronne (dans les provinces, il s'agit de 90 % des forêts commerciales du Canada) est d'encourager les locataires à se charger de la gestion des forêts.

Au cours d'une récente réévaluation de l'utilisation des forêts comme source d'énergie potentielle, une attention plus particulière a été accordée aux effets de la récolte intensive de la biomasse[1]*, particulièrement en ce qui concerne les substances nutritives. La plupart des substances nutritives des arbres se forment dans les feuilles et les petites branches qui tombent habituellement au sol mais qui, au cours de la récolte intensive de la biomasse, sont éliminées. Dans les forêts d'Europe, l'enlèvement de la litière par les paysans a, jadis, entraîné une réduction de la fertilité des terrains forestiers (Le groupe Dryade, 1980; Freedman, 1981). Ces exportations de substances nutritives semblent être à l'origine de la diminution de la productivité dans les zones où les peuplements forestiers font l'objet de très courtes périodes de rotation, c'est-à-dire où l'intervalle entre deux coupes varie entre 2 et 15 ans.

* Ces numéros renvoient au Glossaire.

Dégradation des terres et épuisement des ressources entraînés par les méthodes d'exploitation forestière

Selon les paramètres écologiques, la modification des forêts due à la coupe des peuplements d'âge mûr n'est pas nécessairement nuisible parce qu'il s'agit d'un changement. Les modifications touchent deux niveaux: le peuplement et la forêt. Les répercussions sur le peuplement sont d'ordre local. Sur le plan de la forêt, les perturbations doivent être évaluées en fonction des objectifs de l'utilisation des terres. Le tableau matriciel 1 donne 38 variables, représentant les impacts probables d'importance capitale et secondaire concernant le climat, l'eau, le sol et la faune et la flore, qui risquent de se produire au niveau du peuplement ou à l'échelle locale. Uniquement 5 % des 1 406 combinaisons constituent des impacts directs principaux, soit favorables, soit défavorables au fonctionnement de l'écosystème.

Dans la mesure où la foresterie tient compte des perturbations naturelles dans les forêts, le principe selon lequel ces perturbations ne sont pas dommageables, du moins au niveau du peuplement, parce qu'inévitables, est controversable. Un des éléments en faveur de l'aménagement forestier est que, contrairement aux coupes non réglementées, il permet de choisir le moment de l'impact. Les plans de gestion intégrale des forêts incorporant une série équilibrée de classes d'âges permettent d'assurer la protection des eaux, de l'habitat faunique et du fourrage et d'assurer, dans une certaine mesure, la lutte contre les insectes, les maladies, les feux de friches et les autres types de détérioration. Les avantages de ces restrictions apparaissent au niveau de la forêt; ils sont tangibles et résultent d'une planification de la gestion des forêts à des fins d'utilisations multiples. En effet, ces avantages constituent l'objet et le fondement des politiques provinciales en matière d'utilisation des terres forestières au Canada.

Les avantages et les inconvénients de l'utilisation et de la surutilisation de vastes étendues de forêts vierges sont sujets à controverses philosophiques. Selon certains, les forêts intouchées par l'homme ou soumises à une utilisation négligeable, c'est-à-dire où il n'existe que des perturbations exclusivement naturelles, offrent des conditions optimales. Les principes directeurs des parcs nationaux se fondent sur ce raisonnement: «Les richesses naturelles des parcs nationaux recevront le plus haut degré de protection pour assurer la perpétuation d'un milieu naturel essentiellement non modifié par l'activité humaine. Les ressources naturelles des parcs nationaux bénéficieront d'une protection et d'une gestion qui réduiront au minimum les interventions au niveau des mécanismes naturels de manière à assurer l'évolution naturelle des milieux terrestres et marins et des espèces qui y vivent» (Parcs Canada, 1979). En vertu de cette politique, les ressources naturelles des parcs nationaux ne pourront jamais être exploitées. «Les parcs nationaux sont des zones spéciales dont les richesses sont protégées par des lois fédérales contre toute forme d'extraction tels l'exploitation minière, la foresterie, l'agriculture, l'exploitation pétrolière et gazière, les aménagements hydro-électriques et la chasse à des fins sportives. Toutefois, dans certains nouveaux parcs nationaux, on peut permettre [aux résidents] la poursuite de certaines activités traditionnelles à condition qu'elles ne détruisent ou n'altèrent pas sérieusement les valeurs naturelles qui sont à l'origine de la création du parc» (Parcs Canada, 1979). Les parcs nationaux Wood Buffalo et Gros Morne sont les seuls où l'exploitation commerciale réglementée des forêts est permise, et où l'exploitation réglementée des terres forestières non commercialisables est autorisée, respectivement.

La réserve forestière Temagami, en Ontario, illustre la nature dynamique des forêts. Au moment de sa désignation, en 1901, cette zone se composait de vastes peuplements de pin blanc. L'exploitation forestière y a été autorisée, sauf sur les îles des lacs et dans la région s'étendant jusqu'à la ligne d'horizon (réserve Skyline). Au cours des 80 années ultérieures, les zones de coupes ont été soumises à une régénération naturelle et les nouveaux peuplements se composent de pins et d'autres espèces tandis que les forêts des îles et de la région s'étendant jusqu'à la ligne d'horizon se trouvent à diverses étapes de transition entre les pins et d'autres espèces comme l'érable et le sapin baumier (Armson, 1981). Dans ce cas particulier, l'exploitation forestière a donc joué un rôle important dans la survie d'un grand nombre de pins. Avant 1901, on avait recours au brûlage en vue de faire régresser la succession à un stade d'essences de lumière et de favoriser l'ensemencement des espèces de pins de grande taille, résistantes au feu. En ce qui concerne son modèle de reproduction, le pin blanc s'est adapté aux perturbations causées par le feu.

Les modèles actuels pour les méthodes sylvicoles accordent une attention particulière au mode de reproduction des arbres et aux traces de perturbations antérieures dans les peuplements, qu'il s'agisse de détériorations dues aux insectes, aux maladies, au vent, au feu ou à la coupe. Selon les résultats de cette analyse des paramètres naturels en vue de déterminer le mode de coupe approprié, il n'est pas nécessairement conseillé de procéder à la coupe rase d'un peuplement d'arbres. Cependant, dans les cas où les perturbations antérieures ont été entraînées par des feux de friches d'envergure produisant des peuplements équiennes composés d'arbres ayant atteint la maturité environ au même moment, il sera sans doute préférable, du point de vue écologique, de procéder à la coupe rase, le mode de

régénération le plus efficace sur de vastes superficies de terres au Canada. Le fait que la coupe rase constitue le moyen le plus économique et, dans de nombreux cas, l'unique méthode possible pour abattre les arbres n'est qu'un hasard.

Il est vrai qu'à l'époque la coupe rase n'était pas effectuée de façon judicieuse, mais, de nos jours, la situation s'est améliorée (Smith, 1973). Autrefois, il n'existait pas de restrictions relatives à la coupe des peuplements commercialisables et, dans de nombreux cas, de vastes superficies exploitées étaient incendiées, ce qui a eu des effets désastreux sur la régénération ultérieure des forêts des États-Unis et du Canada. Dans de nombreux peuplements, il ne restait pas suffisamment d'arbres pour assurer un ensemencement approprié. Ce genre d'exploitation se fait encore à certains endroits à faible rendement de la forêt boréale canadienne, à cause des problèmes liés aux coûts élevés de l'exploitation des vastes zones d'arbres surâgés et à la très faible valeur de leurs bois sur pied[2]. Toutefois, dans de nombreuses régions du Canada, la coupe rase est un mode d'exploitation dirigé soumis à des restrictions et à une surveillance.

Au niveau de la forêt, les modifications non prévues dans les objectifs et les plans d'aménagement forestier d'une région particulière constituent les contraintes nuisibles de l'exploitation forestière.

Dans une grande mesure, on se fonde sur les valeurs humaines pour évaluer les contraintes des méthodes d'exploitation forestière. Par exemple, d'après certains écologistes, la destruction de vastes peuplements d'âge mûr d'un parc national par la tordeuse des bourgeons de l'épinette ou le dendroctone du pin ponderosa ne représente pas un phénomène d'agression. Toutefois, dans une région d'aménagement forestier (d'exploitation commerciale), ce même type de destruction risquerait de réduire les profits actuels et éventuels provenant de l'utilisation multiple en éliminant les possibilités d'exploitation de bois précieux, en influant sur la structure de classes d'âges de la forêt et sur les exploitations prévues, en produisant des peuplements d'arbres morts qui altèrent le paysage et en causant sans doute de grands incendies de forêt et la destruction de l'habitat faunique. Il faudrait alors tenter de réparer les dégâts, ce qui en soi pourrait avoir d'autres répercussions dues, par exemple, à la pulvérisation intensive de produits chimiques ou aux gros travaux de construction des routes et à la perte de la valeur panoramique du milieu. Il s'agit de choisir le moindre mal. La figure 1 donne des exemples de contrainte observés au niveau de la forêt.

À titre d'exemple de détérioration, mentionnons le taux de mortalité élevé des forêts de sapin baumier dans le parc national de Fundy au Nouveau-Brunswick et dans le parc national des hautes terres du Cap-Breton en Nouvelle-Écosse. Au Cap-Breton, la région de hautes terres adjacentes au parc était soumise à une utilisation multiple, mais en raison des pressions exercées par le public, le gouvernement provincial n'a pu utiliser de produits chimiques en vue de la protection des peuplements sur les terres provinciales. Des problèmes et des controverses similaires ont été suscités en ce qui concerne les dommages causés par le dendroctone du pin ponderosa dans les parcs nationaux de l'Ouest canadien et sur les terres forestières adjacentes exploitées à des fins de commercialisation.

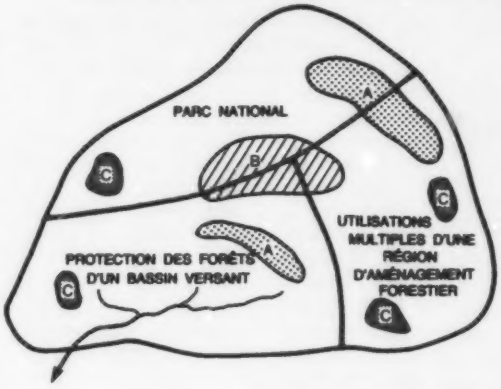
Au niveau du peuplement, l'exploitation forestière a des contraintes physiques et biologiques plus évidentes qui sont étroitement liées à l'étendue et à l'emplacement des terrains déboisés ainsi qu'à la nature et au degré de dégradation des sols entraînée par la construction des routes et l'utilisation d'équipements pour déplacer les grumes depuis la souche jusqu'au bord de la route. Toutefois, la mise en oeuvre d'une réglementation et de restrictions plus rigoureuses a permis d'atténuer les controverses au sujet des techniques d'exploitation forestière et de sylviculture.

Afin d'évaluer la nature et l'importance des contraintes de l'exploitation forestière, il faut:

- tenir compte des objectifs de gestion des terres, et

FIGURE 1.

Relation entre les contraintes positives ou négatives perçues des terres forestières et les objectifs d'utilisation des terres et perturbations au niveau de la forêt



Contrainte: changement du fonctionnement d'un écosystème causé par une agression

+: considéré comme bénéfique ou complémentaire aux objectifs d'utilisation des terres

−: considéré comme nuisible aux objectifs d'utilisation des terres

OBJECTIFS ET UTILISATION DES TERRES

Perturbation		Parc national (protection de la nature)	Région d'aménagement forestier (utilisations multiples)	Région de protection (qualité et quantité des eaux)
A	incendie	+ (1)	− (3)	− (5)
B	mortalité causée par des insectes	+ (1)	− (3)	+ (1)
C	coupe rase	− (2)	+ (4)	+ (6)

EXPLICATION

1) Une perturbation naturelle qui s'est produite autrefois et qu'on devrait laisser se reproduire, car elle fournit une végétation pionnière qui favorise les populations fauniques.

2) Il n'y a aucun précédent historique à l'exploitation forestière qui peut causer des modifications artificielles du fonctionnement d'un écosystème et au niveau de la forêt.

3) L'élimination de la forêt par des agressions non réglementées bouleverse la structure des classes d'âges prévue et menace les avantages qu'on peut tirer des forêts à utilisations multiples.

4) La réglementation de l'élimination et du remplacement du bois régularise l'approvisionnement en bois et offre d'autres avantages sous forme d'utilisations multiples.

5) De vastes feux dans des forêts de protection de bassins versants menaceront la qualité de l'eau et les débits de pointe.

6) Il a été démontré que les petites coupes à blanc ou les coupes partielles améliorent les rendements en eau sans aucun effet négatif.

- comprendre la dynamique, le fonctionnement et les processus de récupération des écosystèmes forestiers.

Les facteurs qui perturbent une forêt donnée ne sont pas nécessairement dommageables dans une autre. Les forêts diffèrent selon le climat et le site, et les valeurs collectives et particulières varient considérablement en ce qui concerne la perception, les objectifs et les principes de l'utilisation des terres.

Pour illustrer ces phénomènes, passons en revue les caractéristiques régionales des types de contraintes ainsi que les cas particuliers et leur historique.

IMPACT DES CONTRAINTES DE L'UTILISATION DES TERRES FORESTIÈRES À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

Terre-Neuve

L'île de Terre-Neuve comporte des forêts boréales (Rowe, 1972) caractérisées par un climat aride, ce qui exclut les possibilités d'exploitation agricole sur de vastes superficies (carte 1). En raison des coupes et des brûlages répétés sur la côte au cours de trois siècles de colonisation, la forêt côtière a été considérablement réduite. Les grandes forêts de sapin baumier et d'épinette noire de l'intérieur de l'île ont d'abord été exploitées pour le bois à pâte dès 1897. Actuellement, il existe trois grandes usines de pâtes et de nombreuses petites scieries (Page *et al.*, 1974).

D'après la dynamique écologique des forêts intérieures, les brûlages répétés ou les coupes et brûlages peuvent être à l'origine des landes et des terres dénudées de *Kalmia* (Damman, 1964; figure 2). Les landes, terrains dominés par des arbrisseaux ou des éricacées comme les espèces *Kalmia*, *Vaccinium* et *Ledum*, sont les lieux d'une réduction réelle de la fertilité de la forêt. Après l'implantation des landes, il devient difficile de régénérer les terrains forestiers. L'île compte actuellement de vastes landes artificielles dépourvues d'arbres, similaires aux landes ou aux tourbières de la Grande-Bretagne et de l'Europe.

La restauration naturelle des forêts exploitées et incendiées constitue fréquemment un processus lent et difficile. Selon les estimations, au cours de la régénération de ces zones, 50 % de la superficie risque de ne pas atteindre un stade de succession souhaitable. On prévoit des pénuries de bois susceptibles de s'accroître au cours du siècle prochain si des mesures appropriées ne sont pas prises. Toutefois, grâce à l'aide du gouvernement fédéral, la province et l'industrie ont mis en œuvre un important programme de restauration forestière, de reconstitution de peuplement et de coupe de récupération afin de contrer la réduction prévue de la productivité des forêts.

Les forêts d'âge mûr de l'Intérieur ont été ravagées par l'arpenteuse de la pruche et, comme le reste de la forêt de pruche et de sapin de l'est de l'Amérique du Nord, sont fortement défoliées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, d'où diminution des peuplements. La lutte contre les insectes est assurée par pulvérisation de produits chimiques. Les conclusions des études effectuées à ce sujet établissent que les insecticides actuellement utilisés ne semblent entraîner aucune perturbation environnementale persistante chez les poissons, les proies des poissons, les oiseaux ou les mammifères (Hudak et Raske, 1981). La plus grande retombée due aux infestations sera d'ordre socio-économique, à savoir une hausse du chômage entraînée par les pénuries éventuelles de bois exploitable.

À Terre-Neuve, comme dans le reste du Canada, la mécanisation de l'exploitation forestière a eu lieu au cours des années 1960. Deux des principales sociétés détiennent des permis autorisant l'exploitation de vastes régions et possèdent des baux d'une durée exceptionnelle de 99 ans. La réglementation gouvernementale de l'exploitation forestière est relativement restreinte. D'après les études sur la dégradation des sols, le débusquage par traînage et la construction de routes sont à l'origine de maintes perturbations (Case et Rowe, 1978; Case et Donelly, 1979). Case et Donelly (1979) ont formulé des conclusions relatives à de nombreuses zones de la forêt boréale où le débusquage par traînage n'est pas réglementé.

« Le débusquage par traînage a causé divers types de dégradation du sol, depuis l'enlèvement de la litière jusqu'à une exposition marquée du sol minéral. Les types et la portée des perturbations variaient d'un site à l'autre selon la texture et les caractéristiques de drainage du sol et la saison d'exploitation.

L'utilisation des bouteurs a entraîné une forte exposition du sol minéral sur 9,6 % de la superficie des zones déboisées. En superficie totale des terres déboisées à Terre-Neuve, cette réduction correspond à une perte annuelle de 1 500 à 2 000 ha de terres d'exploitation forestière. La perte possible de la coupe annuelle permise due exclusivement à l'utilisation des bouteurs est de 0,15 m³/ha par année.

L'utilisation à court terme des chemins et des sentiers de débusquage était la principale source de perte de sol minéral. Des réductions moindres ont été attribuées à l'aménagement de jetées et de routes principales et secondaires de débardage. La dégradation due à l'utilisation des bouteurs était plus limitée dans les régions exploitées en hiver que dans les zones d'exploitation estivale, dans une proportion de 50 à 60 %.

Les effets de l'utilisation des bouteurs sur la qualité du site sont liés aux techniques d'utilisation, c'est-à-dire aux méthodes de construction, ainsi qu'à des plans de mise en oeuvre dont les contrôles sont inadéquats. Bien que, dans une certaine mesure, la dégradation du sol causée par les bouteurs soit inévitable au cours de l'exploitation forestière, elle peut être réduite en enseignant aux surveillants et aux opérateurs les techniques efficaces de planification et de construction de réseaux de débardage des grumes.

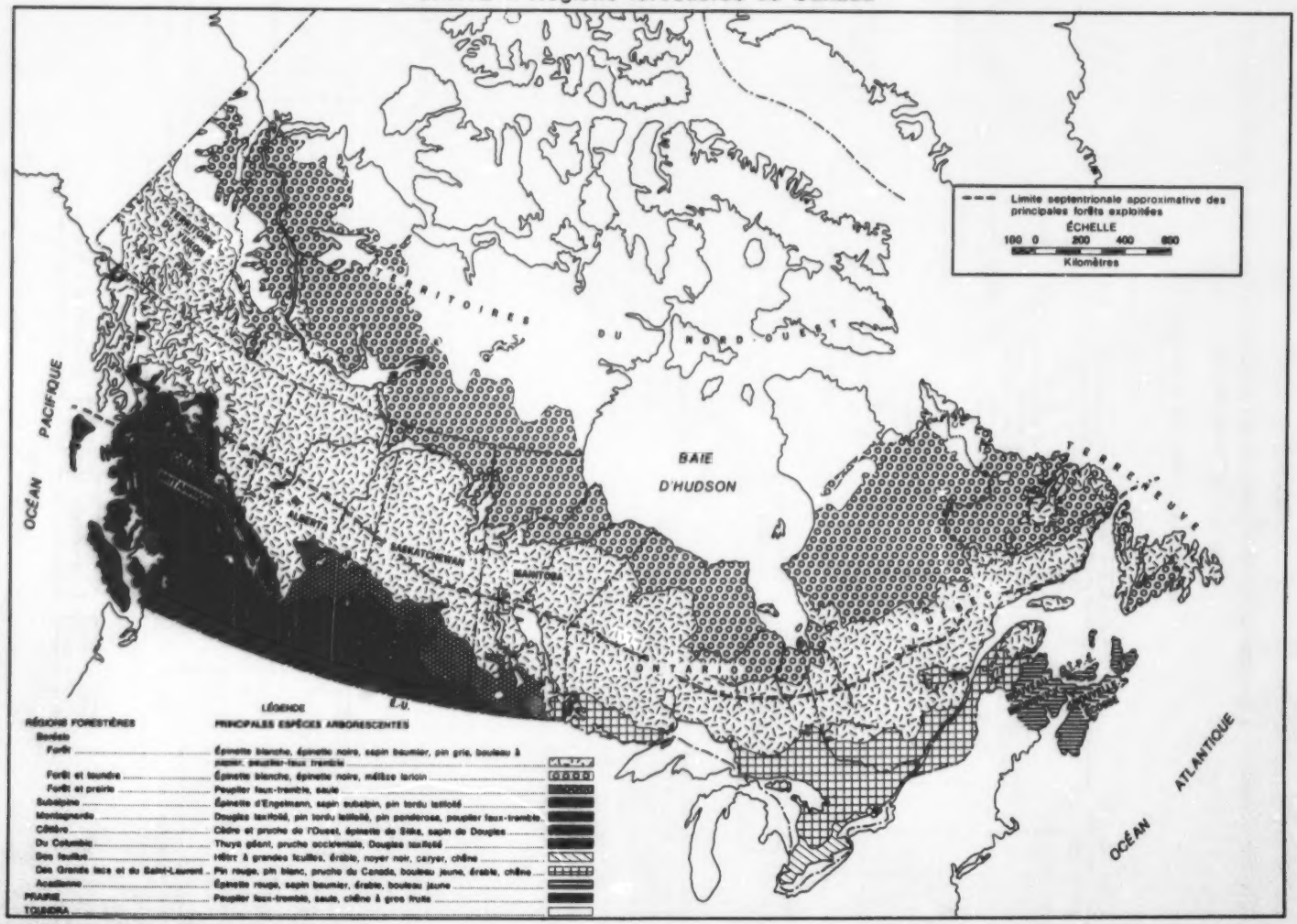
Sur les terres non déboisées à l'aide de bouteurs, des parcelles dispersées de sol minéral exposé, le tassement et l'accumulation de rémanents constituaient les principaux impacts de la coupe. En raison de la petite taille et de la non-contiguïté du sol exposé, aucun problème d'ordre environnemental n'est apparu.

En été et en automne, l'exploitation sur les sols à drainage insuffisant a entraîné la détérioration la plus notable des zones non déboisées à l'aide de bouteurs. Les perturbations sont alors entraînées par la redistribution et le tassement des sols, ce qui entrave le drainage naturel et provoque une humidité excessive à la surface. À cet égard, il est possible de minimiser les risques de réduction de la productivité des sites par un choix approprié de l'équipement et de la saison d'exploitation, de manière à s'assurer que les sites mal drainés soient imbibés d'eau au cours des périodes de gel.

Le tassement a été constaté sur 30 % des terrains non déboisés à l'aide de bouteurs. Sur ces zones, les peuplements de régénération de résineux ont tendance à être clairsemés, et la restauration est nulle au cours d'une grande partie de la période de rotation. À Terre-Neuve, ce phénomène semble toucher jusqu'à 4 000 ha par année. Sur le plan de la productivité, les réductions de la coupe annuelle permise risquent d'atteindre jusqu'à 0,36 m³/ha par année. .

Bien que de gros rémanents recouvraient 29 % des terrains non déboisés à l'aide de bouteurs et qu'ils risquent d'entraîner la formation de peuplements clairsemés, ils ne semblaient pas constituer une entrave majeure au reboisement naturel. Toutefois, les fortes accumulations de rémanents risquent de susciter des problèmes d'aménagement forestier axé sur la régénération artificielle des zones déboisées et de rendre nécessaire une forme quelconque de traitement en vue de faciliter les opérations sylvicoles.

CARTE 1. Régions forestières du Canada

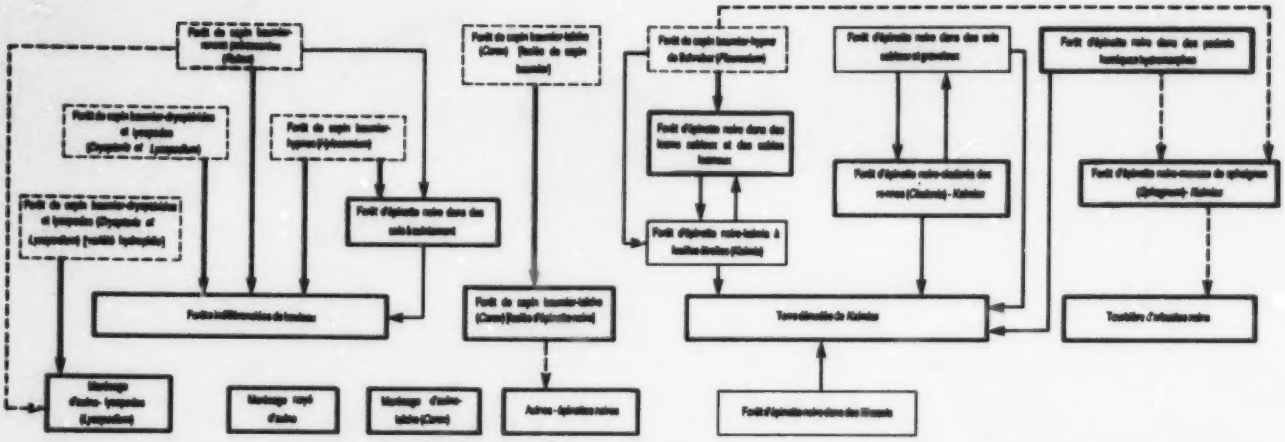


Source: Tiré de Rowe, J.S., 1972, Les Régions forestières du Canada
Modifications de G.F. Weetman.

FIGURE 2.

Cheminements de la succession après un incendie et l'exploitation forestière dans les forêts de l'intérieur de Terre-Neuve

SUCCESSION APRÈS UN INCENDIE *



Légende

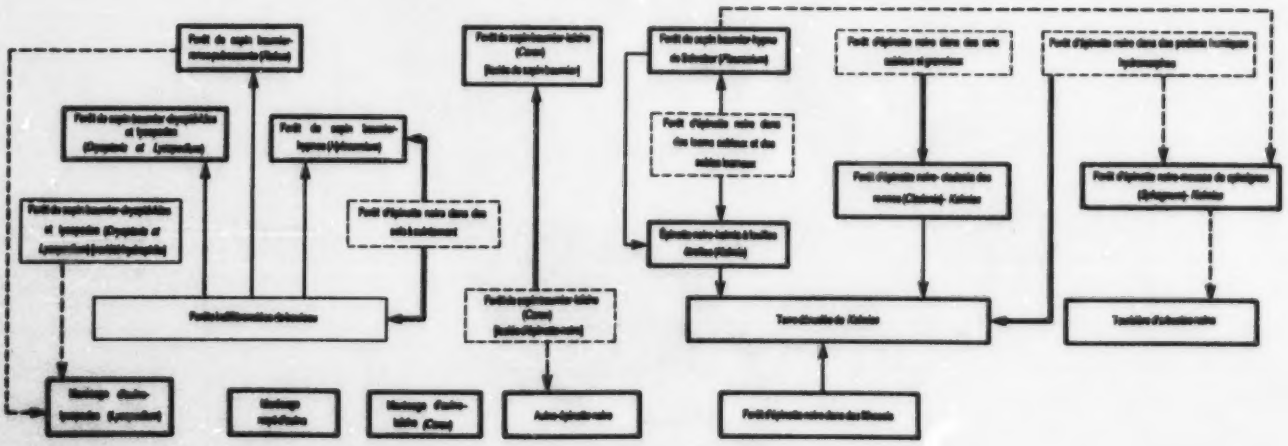
Type forestier stable se développant habituellement au même endroit après un incendie .....
Type forestier qui peut se développer au même endroit après un incendie mais qui se transforme habituellement en un autre type .....
Type forestier instable lorsqu'il est perturbé par un incendie ....

Succession normale .....
Succession dans des conditions quelque peu inhabituelles, conditions inhabituellement bonnes ou mauvaises pendant la germination ou l'approvisionnement en graines .....
Succession se produisant après une modification du bilan hygrique causée par un incendie .....

Noter la tendance à l'apparition de conditions de terres dénudées de *Kalmia* ou de landes.

* À tout moment de l'année, sauf après un incendie, à l'automne d'une année de semences du sapin baumier

SUCCESSION APRÈS L'EXPLOITATION FORESTIÈRE



Légende

Type forestier stable se développant habituellement au même endroit après l'exploitation forestière .....
Type forestier qui peut se développer au même endroit après son exploitation mais qui se transforme habituellement en un autre type .....
Type forestier instable lorsqu'il est exploité .....

Cours possible de la succession après l'exploitation forestière .....
Succession après l'exploitation forestière, les conditions hygriques changeant par la suite .....
Succession normale .....

Noter la tendance à l'apparition de conditions de terres dénudées de *Kalmia* ou de landes.

Source: Damman, 1994.

Photo 3. Jeunes peuplements de sapin baumier du centre de Terre-Neuve où la régénération des résineux sur les anciennes routes pour tracteurs est insuffisante.
B. Cass, Centre de recherche forestière de Terre-Neuve, Service canadien des forêts, St. John's (Terre-Neuve)

À l'analyse finale, les conclusions établissaient que le débusquage par traînage au sol selon les méthodes classiques est à l'origine de perturbations pédologiques susceptibles d'entraîner une détérioration marquée du site et des réductions de la productivité à long terme du milieu.

*Par conséquent, particulièrement dans les zones d'aménagement forestier intensif, il est essentiel d'axer tous les efforts sur la minimisation des impacts, en réduisant les perturbations provoquées au cours du stade opérationnel de l'exploitation forestière.»**

Les photos 3 et 4 présentent certains effets préjudiciables de l'exploitation forestière. Les feuillus non commercialisables qui restent sur les terrains déboisés ont tendance à modifier la composition des espèces du nouveau peuplement, depuis des peuplements de conifères jusqu'à des peuplements mélangés ou de feuillus. Bien que cette transformation de la couverture forestière n'influe pas sur le fonctionnement de l'écosystème, elle entraîne toutefois une modification de l'habitat faunique ainsi qu'une réduction des possibilités futures d'exploitation des conifères.

Le tableau 2 donne une liste des effets préjudiciables possibles de la construction de routes forestières sur les milieux aquatiques et terrestres. Les répercussions visibles de la construction non réglementée des routes forestières à Terre-Neuve font l'objet de la photo 5. Outre les contraintes exercées sur les terres à l'échelle locale ou du peuplement, une détérioration peut être constatée à l'échelle de la forêt en raison de l'augmentation du nombre de voies d'accès aux zones éloignées et de l'accroissement du braconnage, des risques d'incendie et du vandalisme. Cependant, du côté positif, les possibilités d'accès offertes par la construction des routes facilitent la lutte contre les incendies et favorisent les loisirs en forêt, la chasse et l'aménagement forestier.

Provinces Maritimes

En comparaison des forêts de Terre-Neuve, celles de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard sont composées de nombreuses espèces et possèdent de vastes zones de conifères et de feuillus d'ombre. La région forestière acadienne (carte 1) a été non seulement soumise à une exploitation intensive pendant 150 ans, mais aussi gravement perturbée par les ouragans, les incendies, les insectes et les maladies. Dès la Seconde Guerre mondiale, l'industrie du sciage qui exploitait principalement les anciens peuplements de pin blanc et d'épinette blanche de grande taille a perdu de son importance en raison de la réduction des forêts d'âge mûr. Avant l'arrivée de l'industrie des pâtes au cours des années 1930, les coupes n'étaient pas systématiques et on n'abattait que les arbres de premier choix, ce qui a eu des conséquences néfastes sur le plan génétique. À cette époque, il n'existait aucune méthode de restauration ou d'aménagement forestier, et d'autres espèces remplaçaient en général le pin blanc.

Dans les provinces Maritimes, de vastes zones forestières croissent sur de petites propriétés privées ayant été réparties au moment de la colonisation (environ 25 % au Nouveau-Brunswick, 50 % en Nouvelle-Écosse, 100 % à l'Île-du-Prince-Édouard). En raison de l'absence de toute incitation fiscale pour l'aménagement de petits boisés ou de restrictions sur l'exploitation forestière, il y a eu détérioration continue de la qualité des forêts sur ces propriétés. Par contraste, la superficie totale des forêts a augmenté en raison de la baisse de l'activité agricole, comme cela s'est produit en Nouvelle-Angleterre (Spurr et Barnes, 1980).

Comme dans la majeure partie du Canada, jusqu'à ces dernières années, les forêts de la Nouvelle-Écosse n'ont été soumises à presque aucun programme d'aménagement. En raison de nombreux phénomènes d'origine anthropique et naturelle, une grande partie de la forêt est en mauvais état. Suivant les conclusions de l'étude chronologique de la réduction de 40 000 km² de la forêt (Goldsmith, 1980), la détérioration a touché à la taille et au diamètre des arbres et à la composition des espèces, et a entraîné l'augmentation de la superficie des landes, l'appauvrissement en substances nutritives et des pénuries de bois de sciage et de résineux utilisés dans la fabrication de la pâte.

Environ 52 % de l'Île-du-Prince-Édouard est boisée, mais la majorité des peuplements n'ont pas atteint la maturité et sont de qualité médiocre.

Au Nouveau-Brunswick, où les terres publiques s'étendent sur 48 % de la province, les contraintes à l'échelle du peuplement sont, dans une grande mesure, entraînées par la construction des routes et l'utilisation impropre de l'équipement d'exploitation. Des voies d'accès ont été aménagées dans presque toute la province. Actuellement, il n'existe que de rares zones où le débardage s'effectue à l'aide de chevaux.

Dans les provinces Maritimes, la détérioration de la qualité des peuplements et de la composition des espèces des forêts de feuillus se poursuit en raison de l'écrémage[3], des peuplements surâgés et des maladies. En général, les forêts de feuillus actuelles ont une utilité restreinte, sauf pour la fabrication des pâtes. À l'échelle de la forêt, la réduction des peuplements de résineux d'âge mûr due à l'exploitation et à l'infestation continue par la tordeuse des bourgeons de l'épinette se répercute sur la coupe permise[4]. Au Nouveau-Brunswick, pour remédier à la situation, des mesures draconiennes ont dû être prises (par exemple supprimer tous les permis d'exploitation octroyés dans le passé, procéder à une nouvelle répartition des forêts de la Couronne entre les détenteurs de permis et imposer un moratoire sur la construction de nouvelles usines).

* Traduction libre

Photo 4. Dégradation du sol et des arbres due à l'exploitation par traînage au sol à Terre-Neuve.
B. Case, Centre de recherche forestière de Terre-Neuve, Service canadien des forêts, St. John's (Terre-Neuve)

Photo 5. L'abattage des arbres à l'aide de bouteurs entraîne la destruction et la dévalorisation de bois précieux et peut créer des problèmes futurs d'accès à des fins d'exploitation.
B. Case, Centre de recherche forestière de Terre-Neuve, Service canadien des forêts, St. John's (Terre-Neuve)

En vue de la protection des résineux sur pied ayant atteint la maturité, principalement les sapins baumiers, contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette, il faut procéder, depuis plus de 25 ans, à la pulvérisation aérienne de produits chimiques sur de vastes superficies. L'utilisation du DDT a été interdite en raison de ses effets résiduels. La non-intervention au cours des infestations provoque généralement la mort des peuplements d'épinette et de sapin (Hudak et Raske, 1981). En général, le public désapprouve fortement la pulvérisation continue, et on juge qu'elle présente des risques pour la santé publique, bien que les preuves à cet effet soient négligeables. Ces questions ont fait l'objet de vives controverses et d'études approfondies et constituent la principale préoccupation en matière de dégradation due à l'exploitation forestière. Une politique à long terme s'impose afin de restreindre la pulvérisation (Baskerville, 1976 et 1978). En vue d'équilibrer les classes d'âges, il faut planifier l'abattage des peuplements d'âge mûr susceptibles d'être détruits par la tordeuse. Toutefois, la mise en oeuvre d'une politique de ce genre a suscité des difficultés compte tenu des différents types de propriétés et elle nécessite l'aménagement de nombreuses nouvelles routes.

Pour remplacer les forêts d'épinette-sapin et de feuillus par de nouvelles plantations d'épinette noire résistante à la tordeuse des bourgeons (Marceau, 1981), il a fallu effectuer de grands travaux de terrassement à l'aide d'abatteurs Le Tourneau 65-t, de charrues et de sous-soleuses. L'utilisation de ces machines ne semble pas entraîner d'effets préjudiciables directs sur les peuplements. Les systèmes de quadrillage en vue de l'entretien éventuel de la plantation permet de réduire le nombre de routes et de jetées et, par conséquent, de diminuer considérablement les travaux de terrassement sur les zones déboisées.

Les effets à long terme du remplacement des peuplements de feuillus par des monocultures de conifères ainsi que l'utilisation des herbicides constituent deux autres sources de contraintes entraînées par la mise en oeuvre de programmes de restauration forestière sur de vastes superficies. Depuis des décennies, les monocultures ont fait l'objet d'études et de controverses. En fait, la monoculture est pratiquée sur de vastes régions du Canada. La fertilité du sol ne risque

guère de diminuer au cours de la deuxième période de rotation comme cela s'est produit en Nouvelle-Zélande au cours du reboisement de pins *radiata*; il en va de même de la rotation des épinettes comme cela s'est produit en Allemagne (Smith, 1962). En comparaison de la superficie des forêts naturelles, la superficie réelle des plantations sera négligeable. Les plantations d'épinette semblent donc peu susceptibles de réduire la fertilité des sols.

L'utilisation des herbicides est essentielle à la réussite de l'implantation des peuplements de conifères et à la régénération naturelle sur les sites fertiles, mais elle soulève de nombreuses controverses. L'opposition du public à l'utilisation des pesticides constitue une entrave qui risque de rendre inutile la plupart des initiatives de restauration forestière au Canada. Les contraintes qui font l'objet du présent rapport concernent la végétation, la couverture morte et le sol, la faune et les ressources en eau et ont fait l'objet d'études approfondies. Norris (1981) a récemment étudié le comportement et les risques d'utilisation des herbicides. Selon lui, il existe suffisamment de données en vue de déterminer les effets de l'ingestion des herbicides sur la faune qui s'alimente de la végétation traitée, des organismes du sol arrosé d'herbicides (ces substances disparaissent rapidement de la couverture morte et du sol) et des organismes aquatiques exposés aux herbicides dans l'eau. Des données ont été rassemblées sur les degrés de toxicité aiguë et chronique. La plus grande préoccupation au sujet de l'utilisation des herbicides concerne actuellement les risques pour la santé de l'homme et des poissons. L'utilisation des herbicides est soumise à une réglementation rigoureuse, et les conclusions d'un groupe indépendant d'experts du Royaume-Uni établissent que ces produits ne présentent à peu près aucun risque pour la santé humaine s'ils sont utilisés selon les mesures de sécurité et les dosages prescrits.

Dans certains cas, les contraintes les plus grandes au niveau de la forêt peuvent être dues à la non-utilisation des herbicides. Cependant, les solutions de rechange, comme le brûlage dirigé et le désherbage mécanisé, risquent d'avoir des effets davantage préjudiciables sur les peuplements forestiers que les herbicides eux-mêmes.

Forêts du Bouclier canadien – depuis le Québec en direction ouest jusqu'en Saskatchewan

La vaste région du Bouclier canadien (carte 2) est caractérisée par des tills de diverses épaisseurs et des sédiments aqueux qui datent de la dernière glaciation, il y a de 8 000 à 10 000 ans. La région entière est recouverte de granites et de gneiss anciens qui influent fortement sur la topographie et les types de sols. La forêt se compose principalement d'espèces boréales et

TABLEAU 2.
Effets de la construction routière sur l'environnement aquatique et terrestre

Phase de construction	Effets	Causes
Coupe à blanc de l'emprise	Diminution de la productivité du site; pertes de terres productives	Élimination excessive de la végétation dans les sites fragiles; emprise beaucoup trop large
	Destruction des habitats d'espèces d'oiseaux à faible densité et d'espèces animales	Élimination de la végétation dans des habitats uniques ou près de ceux-ci
	Obstacles à la migration du poisson	Arbres abattus tombant dans le cours d'eau
Coupe par bandes de l'emprise	Diminution de la productivité du site	Élimination excessive de sols arables; décapage plutôt que débroussaillage dans les régions noyées
	Perte de terres productives	Destruction du manteau organique par les bouteurs dans les régions à croissance marginale; glissement de terrain causé par l'enlèvement de la végétation dans les régions où l'assise rocheuse n'est recouverte que par des sols peu profonds et dans les sites sableux
	Perte du bois utilisable	Abattage par le vent des arbres le long de l'extrémité de l'emprise en raison des dommages causés à leur système radiculaire; abattage des arbres sur pied par les bouteurs; enfouissement des arbres sous les piles de débris
	Obstacles à la migration du poisson	Rejet d'arbres et de débris dans le cours d'eau par les bouteurs; augmentation de l'envasement des cours d'eau
	Augmentation de l'envasement des cours d'eau	Entraînement des sols érodés dans le cours d'eau en raison de la largeur insuffisante de la zone tampon et débordement des charges des bouteurs dans le cours d'eau
Traversée de cours d'eau	Augmentation de l'envasement du cours d'eau	Érosion du lit et des berges causée par un mauvais alignement des ponceaux et augmentation de vitesses engendrée par l'obstruction de l'écoulement du cours d'eau; affouillement de la fondation de la route causé par l'insuffisance de l'enrochement ou des contreforts élevés
	Obstacles à la migration du poisson	Augmentation de la vitesse de l'eau sous les ponts par les ponceaux; mauvaise installation des ponceaux causant un effet de «chutes d'eau»; obstruction des ponceaux par des débris; ponceaux trop gros qui entraînent des diminutions de la profondeur de l'eau
	Perte de frayères	Ponceaux trop petits ou bouchés par des débris causant un effet d'«engorgement» en amont; augmentation de la vitesse de l'eau accroissant l'envasement en aval

	Perte de terres productives et d'habitats pour la faune et gibier d'eau	Ponceaux trop petits et bloqués par des débris entraînant un «engorgement» et des inondations en amont
Dispositifs de drainage	Perte de sols productifs	Érosion des berges hautes par les grandes vitesses de l'eau s'écoulant dans de longs fossés
	Perte de terres productives et d'habitats pour la faune et le gibier d'eau	Inondations causées par des dispositifs inadéquats de drainage; destruction du manteau organique dans les marécages et les régions de tourbières en raison de la modification des tracés de réseaux hydrographiques
	Augmentation de l'envasement	Écoulement sortant des fossés de vidange se déversant directement dans le cours d'eau
	Diminution de la qualité de l'eau	Pénétration de matières toxiques dans le cours d'eau par le réseau de drainage à la suite d'un mauvais endiguement ou de déversements accidentels
Fosses d'emprunt, berges hautes, remplissage, activité de concassage	Augmentation de l'envasement du cours d'eau	Insuffisance de la zone tampon entraînant un envasement causé par le ruissellement des surfaces exposées; pompage des eaux résiduaires et des eaux de la fosse directement dans le cours d'eau
	Perte de frayères et de sites d'élevage	Prélèvement d'agrégats directement dans le cours d'eau
	Diminution de la productivité du site	Érosion causant l'élimination des particules fines du sol contenant des éléments nutritifs
	Perte de terres productives et d'habitats fauniques	Élimination de la végétation du manteau organique et de terres arables par l'activité des bouteurs
	Perte d'habitats pour les espèces de gibier d'eau	Remplissage des régions marécageuses
Routes riveraines	Augmentation de l'envasement	Insuffisance des zones tampons entraînant un envasement causé par le ruissellement des sols exposés
	Augmentation de la température de l'eau	Élimination de la végétation augmentant la quantité d'énergie solaire reçue par le cours d'eau
	Épuisement de l'oxygène	Pourriture des matières organiques pénétrant dans le cours d'eau
	Diminution des réserves alimentaires du poisson	Élimination de la végétation entraînant une diminution de la chute naturelle des feuilles, source d'éléments nutritifs, et du nombre d'insectes terrestres tombant dans le cours d'eau
Routes situées près d'habitats vulnérables ou uniques de la faune, des oiseaux et du gibier d'eau	Perte d'habitats; accroissement de la concurrence alimentaire; division des troupeaux et des volées; déplacement des oiseaux et des animaux	Perturbations causées par la circulation routière aux animaux et aux oiseaux; bouleversements des comportements migratoires et des régions de nidification/d'élevage
Installations de soutien et d'entretien	Destruction des habitats du poisson, de la faune et du gibier d'eau	Déversement de combustibles et de pétrole dans les cours d'eau; mauvaise utilisation des agents de lutte contre la poussière et les glaces; mauvaise utilisation des pesticides

Source: Case et Rowe, 1978.

les sols sont généralement des podzols[3] (carte 3). Dans cette région, où le climat est de type continental froid, les denses et vastes forêts de conifères caractéristiques de la zone ont subi d'importantes pertes dues aux incendies et au vent. La construction des routes est souvent difficile et coûteuse. L'expansion et le rendement total sont restreints et l'exploitation forestière se trouve encore à la limite de la rentabilité.

Contrairement aux régions acadienne et du Saint-Laurent, l'agriculture n'a présenté aucune concurrence majeure, sauf dans certaines zones argileuses de l'Ontario et du Québec.

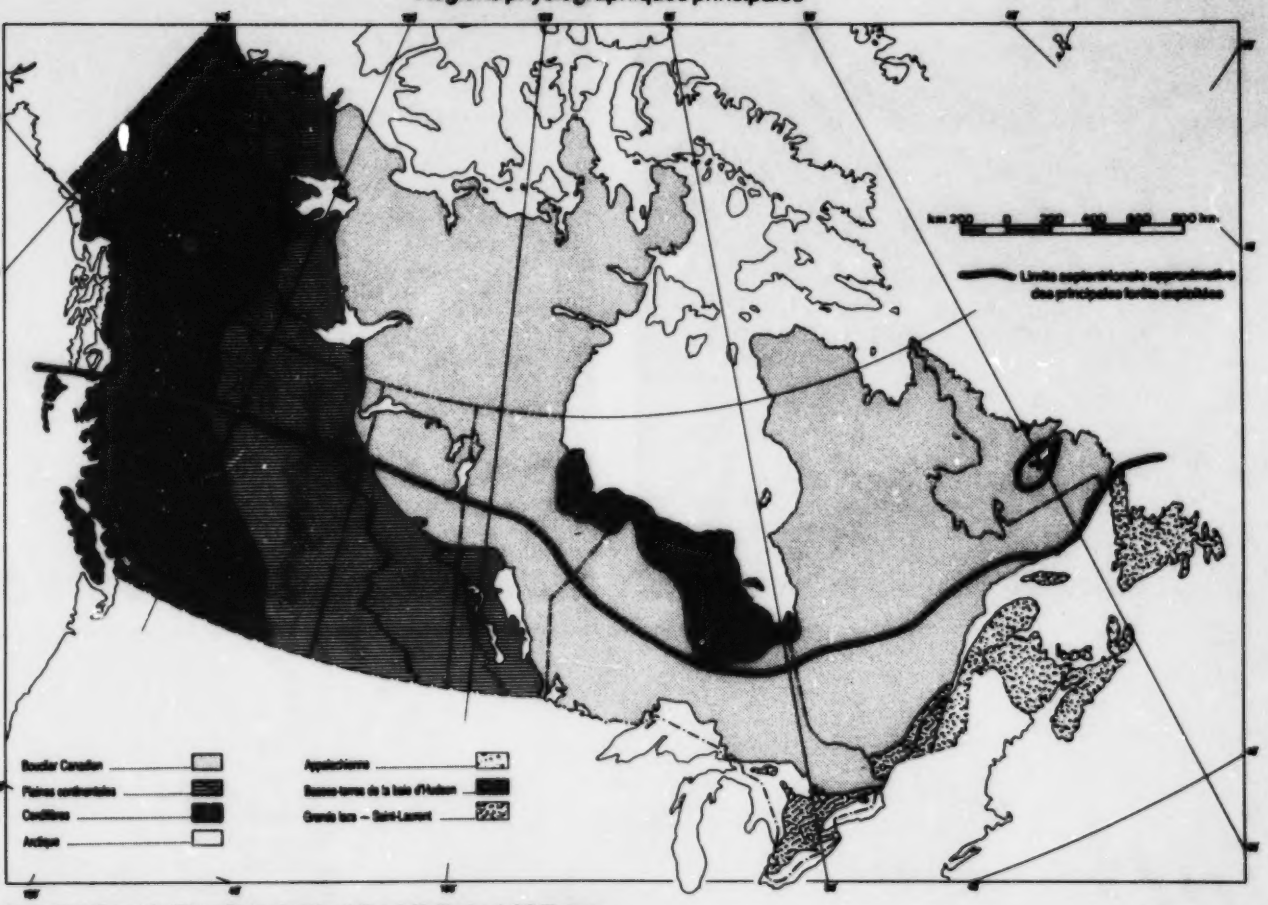
Avant la Première Guerre mondiale, on pratiquait l'exploitation des billes de sciage à la limite sud de cette région. Le principal type d'exploitation, celle du bois de pâte, a commencé au cours des années 1920. De nos jours, la majeure partie de la région, jusque dans les zones à faible rendement situées dans le nord (carte 1), est louée à de grandes sociétés d'exploitation forestière.

Lorsque le débardage s'effectuait à l'aide de chevaux, les impacts sur les terres elles-mêmes étaient négligeables; les cours d'eau servaient au transport des billes jusqu'aux scieries. Dès les années 1960, des préoccupations ont été soulevées concernant l'accumulation excessive d'écorces et de débris dans les cours d'eau et les lacs. C'est vers cette même époque que le débardage a commencé à se faire par camions, mais les cours d'eau constituent encore un des principaux moyens de transport des grumes. Étant donné que les cours d'eau ne permettent pas de transporter de façon appropriée les peupliers faux-trembles et les bouleaux, qui coulent facilement, et que ces espèces sont moins propices à la fabrication de la pâte, elles n'ont jamais été exploitées à cette fin. Les peuplements de résineux se sont donc transformés en peuplements mélangés sur de vastes régions des forêts boréales. Sur le plan de l'économie et de la réserve future de bois, cette transition constitue une contrainte très préoccupante (Whitney et McClain, 1981). La forêt mélangée boréale est donc composée d'une mosaïque de peuplements stratifiés, arrivés à différents stades de succession, où les techniques de coupes ont favorisé davantage la reproduction des feuillus que celle des résineux.

Dans cette région, les initiatives de restauration forestière des zones déboisées (environ 500 000 ha par an sont déboisés) ont été relativement restreintes. L'implantation des résineux est souvent lente, et les peuplements se composent fréquemment d'arbres de tailles non uniformes et sont couverts de broussailles. La succession et la dynamique des forêts qui ont pris naissance par suite d'un incendie et où les espèces se sont adaptées grâce à la présence de cônes plus ou moins sérotineux[4] des pins gris et des épinettes noires diffèrent au cours de la période postérieure à l'exploitation forestière.

CARTE 2.

Régions physiographiques principales



Source: Tiré de Rowe, J.S. 1972, Les Régions forestières du Canada. Modifications de G.F. Westman.

es incendies préparent les lits de germination, liminent les possibilités de concurrence et assu- ent des réserves de graines en chauffant les ônes et en faisant fondre la résine qui retient s écailles; en outre, les arbres morts qui res- ent fournissent des zones d'ombre sur la cou- erture morte où les semis peuvent s'implanter. 'exploitation forestière n'offre habituellement as les mêmes avantages. La régénération res- reinte des résineux dans la forêt boréale a sou- evé de nombreuses inquiétudes (Association orestière canadienne, 1977), et, par consé- uent, il y a eu accroissement des demandes et es initiatives de restauration forestière. Les valuations et les analyses de la situation (Arm- on, 1976) ainsi que les mesures correctives qui nt été prises en sylviculture (COGEF, 1975) nt entraîné des modifications marquées des rocédures et des modes de paiement relatifs ux permis de sylviculture. Les industries qui étiennent des permis doivent assumer de plus en plus de responsabilités au titre d'accords offi- ciels en ce qui concerne la régénération sylvicole des zones exploitées.

Cette contrainte due à l'homme est sans doute à l'origine des répercussions les plus graves et de plus longues durées dans les forêts. Elle touche la totalité des forêts du Canada et influera sur l'état des forêts et le bien-être des Canadiens pendant de nombreuses générations.

La répartition des populations d'ongulés de la forêt boréale a subi des modifications notables depuis que les peuplements d'arbres d'âge mûr sont exploités par l'homme au lieu d'être incendiés, ainsi qu'en raison du nombre croissant de jeunes peuplements artificiels (McNicol et Timmermann, 1981). Les cerfs de Virginie ont étendu leur aire de dispersion vers le nord, les caribous ne fréquentent plus que les zones septentrionales et les populations d'orignaux ont augmenté (cartes 4 et 5).

Les ingénieurs forestiers ont actuellement de plus en plus recours à la scarification des zones déboisées pour détruire les plantes qui font concurrence aux semis des arbres, et ils préparent les lits de germination en remuant la couche d'humus à l'aide d'engins. Le brûlage dirigé est également employé pour éliminer les débris d'exploitation, préparer les sites en vue de l'ensemencement et réduire les risques d'incendie. Ces techniques peuvent être bénéfiques à la fois pour la faune et les arbres si leur mise en oeuvre est effectuée de façon appropriée.

Outre l'aménagement des routes, voici les principales sources de préoccupations concernant les impacts directs de l'exploitation mécanisée sur les peuplements de la forêt boréale:

- superficies et formes des zones de coupe rase
- destruction de la régénération préexistante

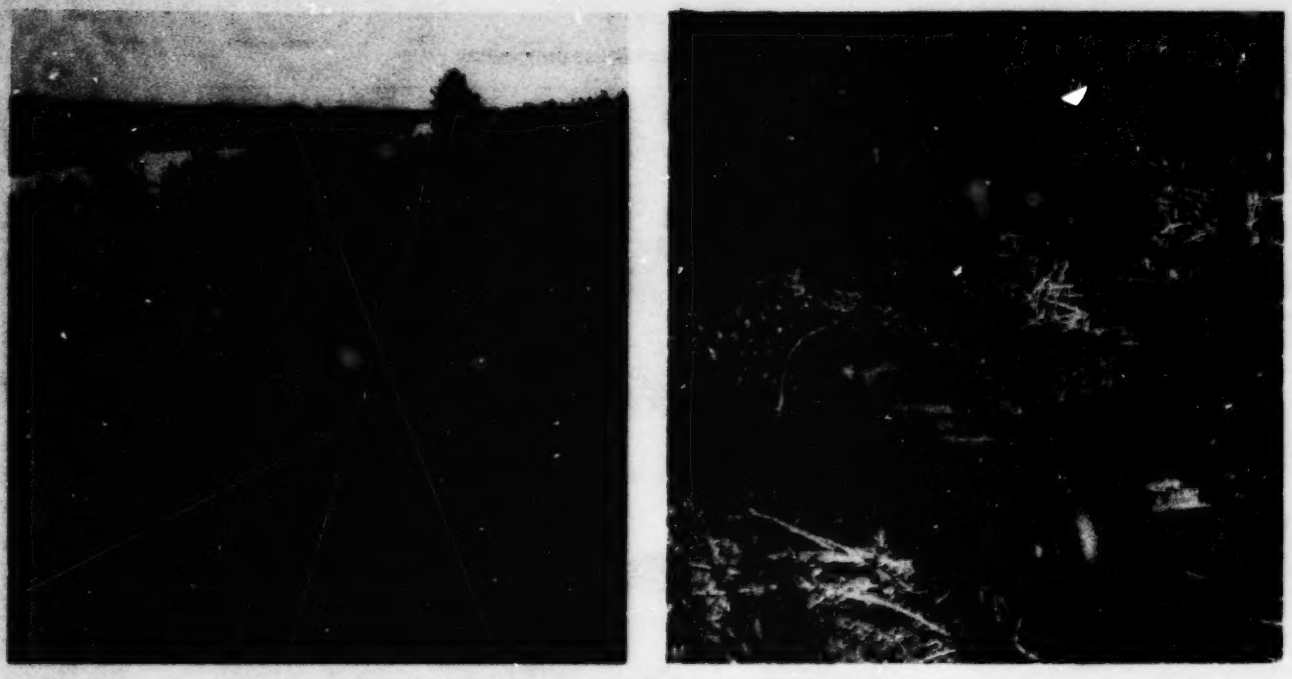


Photo 6. La restauration par coupe et brûlage des landes de *Kalmia* présente des difficultés; il faut habituellement procéder à l'enlèvement des landes, et la fertilité du site s'en trouve réduite.
G.F. Weetman

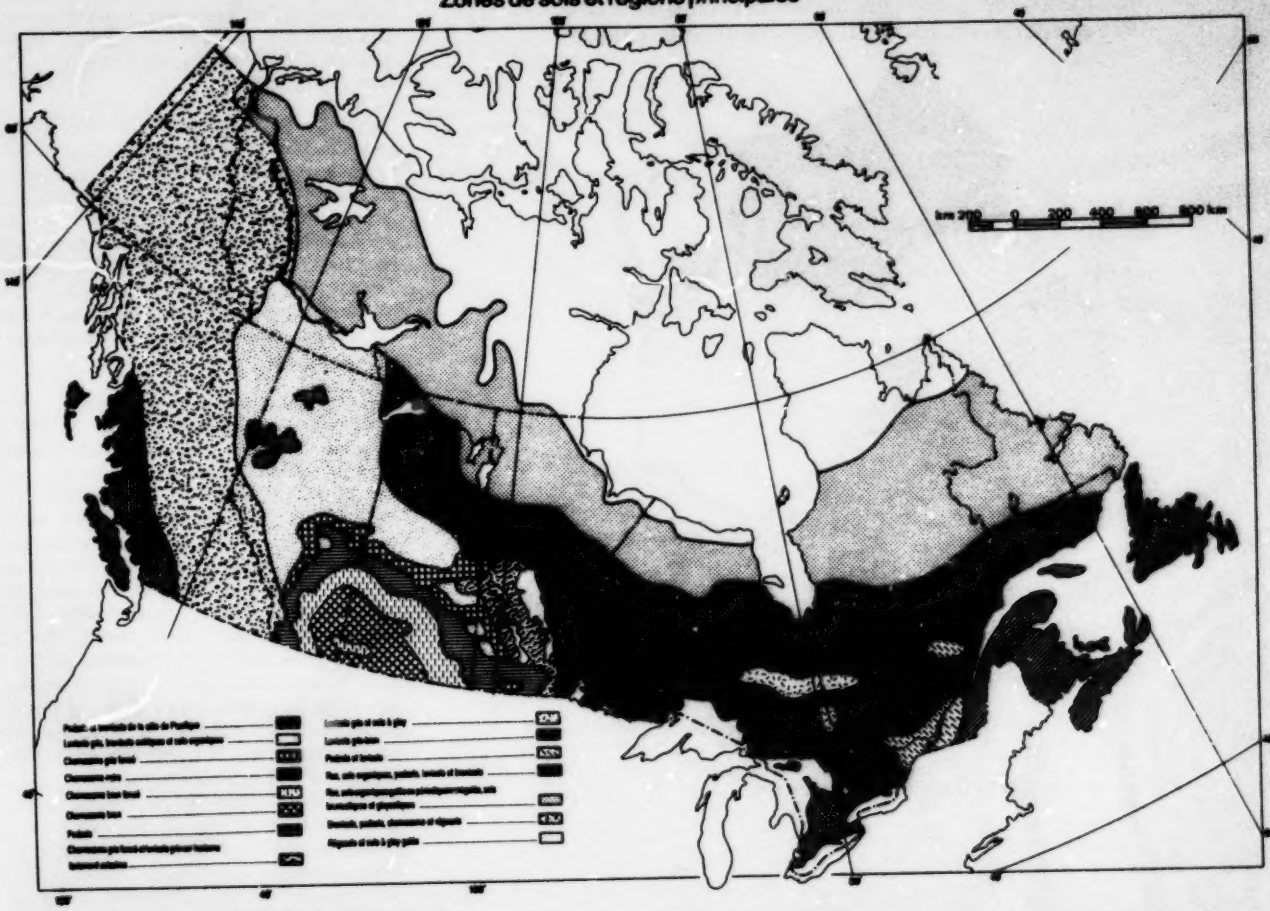
Photo 7. Abattage. Le Tournoau de 65 tonnes utilisé pour préparer les sites en vue du plantage au Nouveau-Brunswick.
G.F. Weetman

- formation d'ornières, perturbations et entassement de la couverture morte dus à l'utilisation de machines
- appauvrissement en substances nutritives, d'où réduction de la fertilité du sol
- dégradation des contrées sauvages.

Ces facteurs font l'objet d'une analyse plus approfondie dans une section ultérieure.

Dans cette région, les bassins versants et les valeurs panoramiques ne sont pas d'un intérêt aussi particulier que dans l'ouest du Canada. Le paysage boréal a souvent un relief très accidenté et est recouvert d'une multitude de types de forêts; les zones déboisées peuvent donc se dissimuler dans le paysage dont la valeur panoramique ne risque guère d'être perturbée. Ces régions sont généralement plates (non montagneuses) et éloignées des centres de population. En raison des moustiques et du réseau de lacs et de cours d'eau, la plupart des installations de loisirs et des chalets sont construits en bordure des voies navigables. Les controverses au sujet de l'exploitation des zones récréatives suggèrent d'aménager des rideaux verts le long des routes et des voies navigables. Dans certains cas, il a fallu procéder à une coupe partielle, au lieu d'une coupe rase, sur les zones adjacentes aux voies navigables, de manière à ne pas perturber

CARTE 3.
Zones de sols et régions principales



Source : Tiré de Rowe, J.S. 1972, Les Régions forestières du Canada.

le paysage depuis les nappes d'eau jusqu'à la ligne d'horizon. Les manuels et les guides d'aménagement paysager qui traitent de la coupe et de l'exploitation (Hough, Stansbury & Associates Ltd., 1973) des forêts de l'est du Canada accordent une attention particulière à ces problèmes.

La forêt boréale comporte de nombreux sites vulnérables, comme les sites rocheux au sol mince, qui ont sans doute été ravagés par de gros incendies, créant des peuplements équiennes. Au cours de l'exploitation des arbres de cette classe d'âge, il faut prendre des précautions particulières afin d'éviter la dégradation du sol, par exemple en créant des zones d'interdiction de coupe, en exécutant les coupes par petites bandes ou parcelles ou des coupes partielles, en prenant des mesures spéciales au cours du débusquage par traînage au sol ou lors de l'exploitation en hiver, etc. Les risques de dégradation peuvent être si élevés dans certaines zones qu'il est préférable d'y interdire toute exploitation.

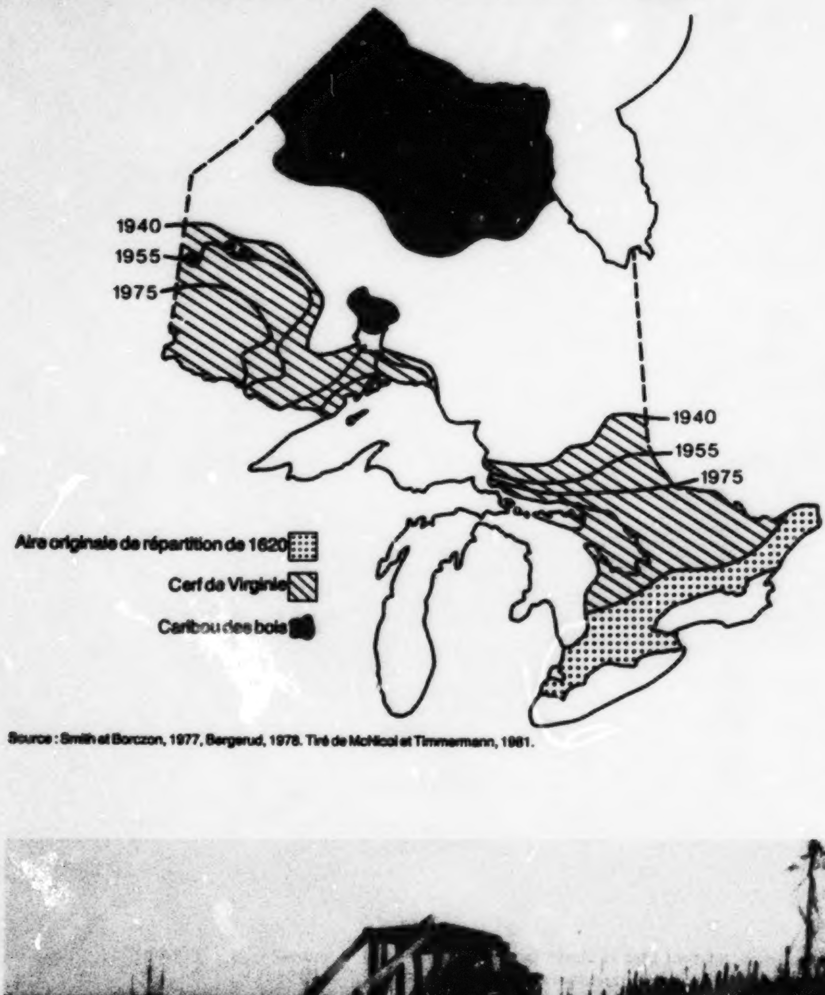
Un problème qui caractérise les forêts boréales concerne le sol organique; habituellement, les forêts d'épinette noire ayant atteint la maturité croissent sur d'épaisses conches de sol organique. Auparavant, dans ces régions, l'exploitation était effectuée au cours des périodes de gel. De nos jours, l'exploitation estivale effectuée à l'aide de débusqueuses ou de tracteurs entraînent la formation de profondes ornières qui se remplissent d'eau, de carex et de roseaux et entravent la régénération des peuplements d'épinette. Toutefois, depuis quelque temps, on espère régler ce problème grâce à l'utilisation de pneus en caoutchouc de grandes dimensions et à très faible pression. Les débusqueuses munies de ces pneus sont plus rapides et plus stables, donnent un rendement plus élevé et permettent de minimiser la dégradation du sol (Mellgnen, 1980).

Région des Grands lacs et du Saint-Laurent – Ontario et Québec

Dans cette région située au sud de la forêt boréale, de vastes zones forestières ont été abattues en vue de l'exploitation agricole, et il pousse de nombreuses forêts de feuillus d'ombre composées d'érables, de hêtres, de pruches et de bouleaux jaunes (auparavant, elles comprenaient un grand nombre de pins blancs). Les forêts de feuillus les plus méridionales du Canada, soit la région forestière des feuillus (carte 1), ont été en grande partie détruites – il n'en reste plus que des vestiges – pour faire place aux exploitations agricoles.

CARTE 4.

Modifications de la répartition du cerf de Virginie de 1620 à 1975 et répartition actuelle du caribou des bois en Ontario



Source : Smith et Borczon, 1977, Bergerud, 1978. Tiré de McNicol et Timmermann, 1981.

Photo 8. En équipant les débusqueuses de larges pneus, on évite la formation d'ornières sur les terrains organiques dans la forêt boréale.
[illegible]

Cette région forestière offre de fortes possibilités de loisirs qui semblent être menacées par l'exploitation forestière. Ces possibilités sont maximales près des centres urbains, dans les zones de récréation publiques et dans les boisés des terres agricoles.

Une grande partie des forêts se trouvent sur des propriétés privées, où il existe assez peu de restrictions relatives à la coupe et où les régimes fiscaux ne favorisent pas la conservation des forêts. En Ontario, les propriétés forestières de production ne sont pas reconnues comme étant de véritables exploitations agricoles à des fins d'évaluation foncière (Puttock, 1982), bien qu'une réduction de 50 % de l'impôt foncier soit accordée aux propriétaires de boisés d'aménagement enregistrés.

Les contraintes négatives des coupes et des exploitations non réglementées sur les petites propriétés forestières privées soulèvent de nombreuses préoccupations (Université Laval, 1981). Aux États-Unis, ce problème se répercute sur l'ensemble du pays, étant donné que la plupart des forêts se trouvent sur des propriétés privées. Au Canada, les terres forestières privées se trouvent principalement dans les régions peuplées de l'Ontario, du Québec et des provinces Maritimes (carte 6). Dans ces forêts, les contraintes sont dues à l'écrémage pratiqué dans les propriétés foncières, à la destruction des boisés, à la détérioration de la qualité des peuplements, à l'industrie de fabrication des meubles en bois dur, à la réduction de l'habitat faunique et à la dégradation des zones panoramiques. Dans de nombreux cas, l'importance de ces perturbations ne peut être mesurée. Elles se produisent dans les forêts les plus proches des centres de population et les plus faciles d'accès aux habitants de l'est du Canada. En ce qui concerne les produits à valeur élevée, les petites exploitations forestières privées ne sont pas rentables en raison des possibilités restreintes d'exploitation et du décalage temporel inhérent. Étant donné que le processus implique des valeurs non mesurables, les théories économiques actuelles, particulièrement sur le plan des investissements selon les analyses des coûts et des avantages, ne peuvent être appliquées à l'aménagement forestier (Lussier, 1981). L'État doit se charger d'octroyer des subventions et d'élaborer des règlements en vue d'assurer l'intégration appropriée de l'exploitation forestière sur ces terres. Bien qu'il existe des programmes provinciaux améliorés, destinés à favoriser la gestion des petites propriétés forestières privées, la mise en oeuvre est difficile en raison des fonds et du personnel trop limités.

Pour les raisons énumérées ci-dessus, les Canadiens qui vivent dans des villes comme Ottawa, Montréal, Toronto, Hamilton, Windsor et Frédéricton sont entourés de forêts privées qui, en général, étaient mal gérées auparavant et le sont encore aujourd'hui.

CARTE 5.
Répartition de l'orignal en Ontario

Source : Cumming, 1972. Tiré de McNicol et Timmermann, 1981.

Dans la partie inférieure de la vallée du Saint-Laurent au Québec, le chômage dans les zones rurales et les problèmes d'ordre social qui en résultent soulèvent de graves difficultés. Avec l'effondrement de l'agriculture, les habitants des zones rurales et le gouvernement ont opté pour la sylviculture subventionnée par l'État dans les forêts dégradées afin de réduire le chômage et d'améliorer les conditions des boisés.

En raison des nombreux types de problèmes associés à la baisse de viabilité économique de l'exploitation agricole sur les terres à faible rendement ainsi que des boisés et des terres forestières de la Couronne, la planification de l'utilisation des terres forestières a été étudiée de fond en comble (Hills *et al.*, 1970; Jurdant *et al.*, 1972). Bien qu'il existe une bonne documentation au sujet des contraintes exercées sur les terres, des forêts et de la réaction du public, les solutions sont difficiles à trouver. Les problèmes de foresterie sont aggravés par les faibles profits de l'exploitation des forêts de la Couronne, l'absentéisme des propriétaires fonciers, les valeurs spéculatives des terres, la migration vers les centres urbains et le manque de fonds et de personnel pour assurer une mise en oeuvre appropriée des politiques gouvernementales actuelles concernant la foresterie sur les terres privées.

Dans cette région, les politiques des parcs provinciaux en matière de forêts ont été critiquées. Les forêts de nombreux parcs de l'Ontario et du Québec sont exploitées depuis 100 ans. Il s'agit donc de déterminer si, dans l'opinion publique, l'exploitation forestière est compatible avec les objectifs des parcs. À cette fin, il a fallu procéder au zonage des parcs selon les types d'utilisation des terres, à la restriction de l'exploitation au cours des périodes non touristiques et à des méthodes de coupes partielles comme la coupe de jardinage' dans les peuplements de feuillus d'ombre (par exemple dans le parc Algonquin, en Ontario) et au mode de régénération par coupes progressives' dans les zones d'aménagement du pin blanc.

Forêts-parcs boréales et de peuplier faux-tremble des Prairies – Manitoba, Saskatchewan et Alberta

Dans la majeure partie des Prairies, les contraintes exercées sur les terres forestières dues à l'exploitation n'ont attiré l'attention que récemment (Environment Council of Alberta, 1979). Les problèmes sont de nature similaire, mais la région s'étend sur une vaste superficie où la population est clairsemée, où les forêts ont été incendiées à maintes reprises dans le passé et où les principales opérations de coupes rases associées à l'industrie des pâtes sont relativement récentes.

Les terres situées au sud et à l'ouest du Bouclier canadien des Plaines intérieures (cartes 1, 2 et 3) sont caractérisées par de profondes couches de sol, des affleurements rocheux limités, un nombre restreint de lacs, un terrain non accidenté et des forêts dominées par l'épinette blanche, l'épinette noire, le pin gris et le peuplier faux-tremble. Sur les reliefs plats de ce type, où les couches de sol sont profondes, les méfaits de l'exploitation forestière sont beaucoup moins évidents et les sites vulnérables beaucoup plus rares.

Toutefois, les conditions changent dans les avant-monts des montagnes Rocheuses en Alberta. Il s'agit d'une région d'un intérêt panoramique particulier, où l'exploitation du charbon, du pétrole et du gaz naturel prend rapidement de l'expansion et où les forêts publiques offrent des possibilités de loisirs. La concurrence et les contraintes exercées par l'utilisation multiple de ces terres forestières publiques ont pris de l'ampleur. Au cours de l'exploration, les sociétés pétrolières et gazières ont déboisé des bandes de forêts d'un bout à l'autre de la région en vue de l'installation des lignes sismiques, et l'industrie forestière a construit des réseaux routiers d'envergure et a exécuté des opérations de coupe rase à une grande échelle. Des mesures sont actuellement prises en vue d'assurer une protection accrue des forêts.

Il est difficile de distinguer les contraintes dues à l'exploitation de celles des autres utilisations des terres. D'après une étude poussée sur les effets de l'exploitation dans les régions d'Edson et de Grande-Prairie (C.D. Shultz & Co. Ltd., 1973), les perturbations entraînées par la construction des routes forestières sont beaucoup plus graves que les impacts des autres étapes de l'exploitation. La protection des bassins versants des cours supérieurs des rivières qui s'écoulent dans la région est d'une importance capitale. La principale préoccupation concerne l'influence de l'élimination des arbres sur le débit total et le débit saisonnier des cours d'eau. Les phénomènes touchés sont l'interception des précipitations par le couvert forestier, le taux d'évapotranspiration et la vitesse de fonte de la neige. L'éten-

due de la zone de coupes par rapport au taux d'accumulation et de fonte de la neige est à considérer. Certaines études ont permis de déterminer que la coupe risque d'entraîner une augmentation du débit réel des eaux. Selon Anderson *et al.* (1976), les augmentations maximales au cours de la première année pendant la période postérieure à la coupe rase, à la coupe partielle et à la coupe de jardinage sont respectivement de 46, 20 et 10 cm par unité de surface. (En vue d'établir des comparaisons valables entre les bassins versants de tailles différentes, le débit est fréquemment converti en unités de profondeurs uniformes pour l'ensemble du bassin versant; ces unités s'appellent centimètres par unité de surface.) Une augmentation maximale approximative serait de 4,5 mm par an pour chaque réduction de 1 % du peuplement forestier, mais en général les augmentations n'atteignent que la moitié de cette valeur (Golding, 1981).

En raison de l'importance particulière des bassins versants, des lignes directrices ont été élaborées en vue de minimiser les perturbations du sol et d'encourager l'utilisation des rideaux verts en bordure des cours d'eau et la coupe par cantons et par bandes (tableau 3).

Dans cette région, il y a un changement marqué de la topographie entre les parcs nationaux Banff et Jasper dominés actuellement par des forêts fermées où les exploitations forestières et minières sont interdites, et les zones forestières situées à l'est des parcs sont actuellement soumises à de graves perturbations d'origine anthropique. Une grande partie de la forêt des parcs nationaux Banff et Jasper se compose de peuplements équiennes de pin tordu latifolié au stade de subclimax qui se transformeront graduellement en peuplements d'épinette blanche et d'épinette d'Engelmann s'ils ne sont pas incendiés. Au cours de la période de maturation, les peuplements de pin tordu latifolié sont ravagés par le dendroctone du pin ponderosa qui infeste même les forêts commerciales adjacentes aux parcs. Les changements provoqués par l'exploitation forestière attirent l'attention du public et font un contraste frappant avec le «paysage naturel» et les espèces fauniques des parcs nationaux. Les routes aménagées dans les forêts pour l'accès des touristes et des chasseurs entraînent des contraintes qui sont perçues de façons fort différentes par les divers groupes de la société.

Forêts des régions montagneuses

Intérieur de la Colombie-Britannique et de l'Alberta

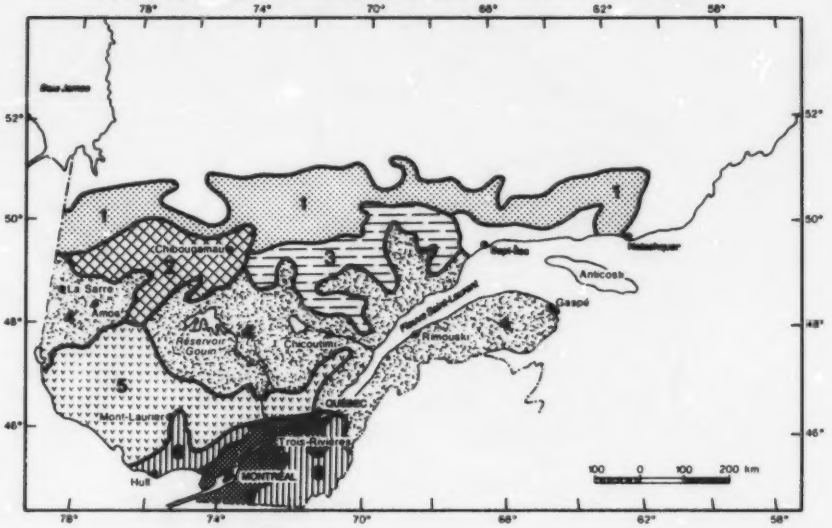
Les montagnes de l'intérieur de la Colombie-Britannique et de l'Alberta se caractérisent par une très grande gamme de climats, depuis le climat désertique jusqu'aux climats alpin et boréal. L'ensemble de la région connaît des saisons de croissance courte et un climat continental. Elle est composée de la région forestière montagnarde, de la région forestière subalpine et de la région forestière du Columbia (Rowe, 1972). Elle a été soumise à de nombreux incendies et infestations d'insectes, d'où la présence de forêts gravement perturbées, sauf à des altitudes élevées.

De très graves conflits en matière d'utilisation des terres ont été suscités par les reliefs onduleux et montagneux, l'utilisation de l'eau à des fins d'irrigation, les migrations saisonnières des populations d'ongulés, les exploitations agricoles et d'élevage dans les vallées et l'expansion du tourisme.

L'exploitation dans cette zone est axée sur les grumes de sciage et non pas le bois de pâte comme dans les autres régions du Canada. Les grumes doivent être transportées par camions, et des routes doivent être aménagées sur les versants escarpés des montagnes. Les forêts des zones de faible altitude ont été exploitées il y a longtemps.

CARTE 6.

Aperçu général des principaux problèmes forestiers du Québec



Subdivision du Québec en régions à problèmes forestiers:

- Zone 1 - Forêt d'accès non rentable.
- Zone 2 - Surexploitation, pénuries de stocks, régénération naturelle souvent inadéquate.
- Zone 3 - Sol mince. Fréquents problèmes de régénération en sol rocheux à la suite de la mise en valeur.
- Zone 4 - Pénuries de forêts d'âge mûr. Graves infestations par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Trop forte densité de résineux lors de la régénération naturelle. Invasion graduelle d'essences feuillues non commerciales.
- Zone 5 - Graves infestations par la tordeuse, détérioration permanente des peuplements de qualité.
- Zone 6 - Association des problèmes rencontrés dans les zones 4 et 5. Graves invasions de ravageurs forestiers dans les meilleurs sites.
- Zone 7 - Zone principalement agricole, où on trouve toutefois de nombreux boisés d'exploitation agricoles qui sont souvent mal aménagés.

Source : Lussier, 1982.

Photo 9. Parc national Jasper (Alberta).
MFB-Photothèque-ONF — Photo de Nelson Marrifield

Voici les principales préoccupations:

1. La protection de l'habitat des ongulés (principalement les troupeaux de caribous de Kootenay), particulièrement les quartiers d'hiver de faible altitude et les forêts matures d'altitude élevée.
2. La protection des bassins versants dans les zones d'irrigation comme celles de l'Okanagane.
3. La conservation de la nature sauvage dans les vallées non continues.
4. L'érosion et l'utilisation impropre des débusqueuses et des routes d'exploitation en montagne.
5. La préservation de la valeur panoramique des zones de coupe rase (superficies, formes et orientations).
6. La protection de l'habitat des poissons.
7. La protection des forêts vulnérables sur les versants des montagnes (zones de protection environnementale).
8. L'exploitation forestière dans les parcs provinciaux (devrait-elle être permise comme dans l'est du Canada?).
9. Le manque de régénération sur de nombreux sites, particulièrement dans les zones d'altitude élevée.
10. La portée de la coupe de récupération dans les peuplements ravagés par les dendroctones.

La population de cette région, peu dense, vit principalement de l'exploitation forestière, de l'élevage et du tourisme. Une planification rationnelle de l'utilisation des terres sur une grande superficie de la région constitue un facteur essentiel à sa viabilité économique. Les visiteurs non autochtones favorisent habituellement les zones destinées à une seule utilisation, habituellement en ce qui concerne les loisirs ou les contrées sauvages. Au fur et à mesure que les conflits augmentent, il devient davantage évident qu'il faudra procéder à des études biophysiques d'envergure en vue de rassembler des données scientifiques de base destinées à l'utilisation rationnelle des terres.

Région côtière de la Colombie-Britannique

Contrairement aux forêts de l'intérieur et des autres zones du Canada, les forêts côtières n'ont pas été soumises à un très grand nombre d'incendies majeurs. Les ouragans violents sont rares, et les forêts, dominées par les conifères d'ombre, comme la pruche du Canada, la pruche subalpine, le sapin gracieux, le sapin grandissime et le thuya géant, sont âgées et de très grande taille. Les forêts âgées de 200 à 600 ans sont courantes dans les zones non déboisées. Ces peuplements forment une couverture très uniforme d'arbres sempervirants de grandes dimensions.

TABLEAU 3.
Lignes directrices pour minimiser les perturbations du sol causées par les activités d'exploitation forestière dans les bassins versants

La planification d'un programme de protection d'un bassin versant permet d'identifier les problèmes éventuels et de déterminer les méthodes permettant de les éviter. Le premier facteur dont il faut tenir compte est la minimisation de la superficie totale ou du degré de perturbation du sol.

1. Éparpiller des chantiers pour réduire la superficie des coupes rases continues et empêcher l'accumulation de l'eau de ruissellement.
2. Réduire la longueur de la route et le terrassement pendant la construction routière.
3. Sélectionner la méthode d'exploitation la mieux appropriée aux conditions. Il faut reconnaître que l'exploitation aux tracteurs cause davantage de perturbations que le téléphérage relevé, suivi d'un débardage par câbles-grues, et, pour terminer, d'un débardage par hélicoptère.
4. Planifier soigneusement l'emplacement des chemins de débardage.
5. Choisir soigneusement les premiers dépôts transitoires.
6. Se demander s'il sera nécessaire de brûler les rémanents, tout en sachant que des brûlis importants exposent le sol minéral aux agents d'érosion et entraînent des apports supérieurs d'éléments nutritifs aux cours d'eau.
7. Examiner les possibilités de déracinement par le vent au moment de l'établissement des limites du chantier.
8. Planifier soigneusement le drainage de la route et déterminer la taille des ponceaux nécessaires pour absorber les écoulements de pointe.
9. Penser à laisser des zones tampons arborées entre les cours d'eau et les routes adjacentes et les premiers dépôts transitoires.
10. Évaluer les possibilités d'érosion des cours d'eau et des berges en tenant compte des débris naturels présents dans le cours d'eau et de l'apport probable des débris d'exploitation.
11. Planifier les travaux pour que la construction de la route et les dispositifs de drainage soient terminés avant la saison des pluies.
12. Prévoir un programme d'entretien des routes après l'exploitation forestière.
13. Se doter d'un personnel de surveillance sur le terrain suffisant pour s'assurer que les conditions établies dans le plan d'exploitation seront respectées.

Source: Golding, 1981.

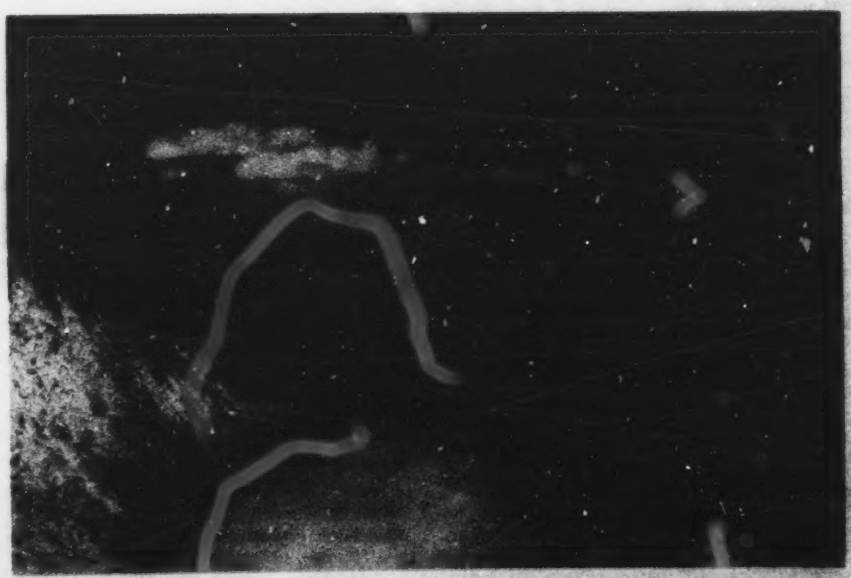


Photo 10. Cette photo présente une route forestière dans une zone de haute altitude et des zones de coupes comportant des chemins de débusquage faits au tracteur. Kootenays-Est (Colombie-Britannique).
R. Smith, CFFP, Victoria

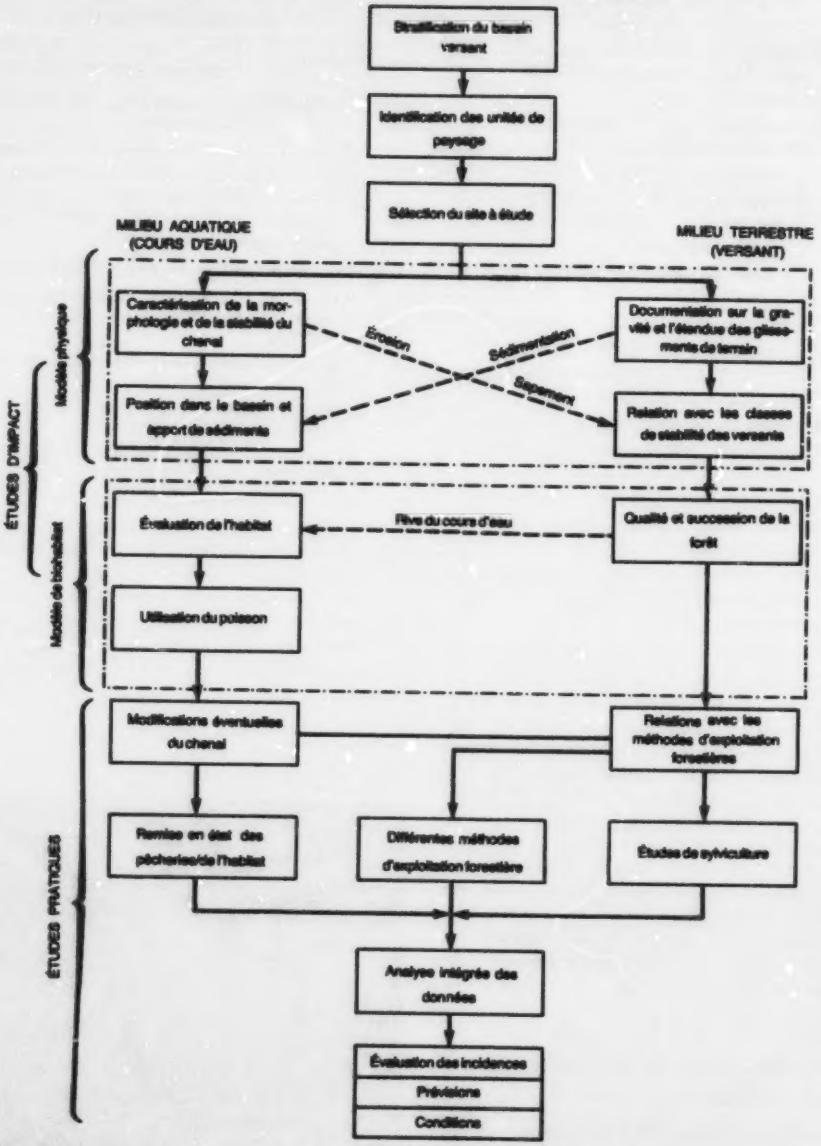
Dans cette forêt, les perturbations dues aux incendies ou à l'exploitation forestière se manifestent de façon très différente: les incendies laissent sur pied des arbres morts de grandes dimensions; l'exploitation forestière est à l'origine de fortes accumulations de rémanents et de souches. Le brûlage des rémanents au cours de la période postérieure à l'exploitation laisse les forêts dans un état de dévastation. Il y a donc un vif contraste entre les zones de coupe rase et la couverture verte uniforme des anciennes forêts. Ces paysages sont facilement défigurés. Par conséquent, en vue de conserver la valeur panoramique de ces régions, on a eu recours à des guides d'aménagement paysager pour modifier la superficie, la forme et l'emplacement des coupes de manière à satisfaire aux critères de qualité visuelle (CQV) (United States Forest Service, 1979*b*). L'élaboration de lignes directrices axées sur le site en ce qui concerne le brûlage des rémanents a permis de réduire de façon considérable les opérations de ce type (Klinka, 1977).

Du fait que les forêts sont âgées et que les conditions sont favorables à la croissance, il existe d'abondantes réserves de bois commercialisable, même dans les zones de haute altitude et sur les versants escarpés. La construction des routes pour atteindre les peuplements du haut des versants et des vallées des montagnes côtières est coûteuse et difficile. Les routes ainsi que les zones de coupe rase sont très visibles. Les travaux ont entraîné de l'érosion et des éboulis, et dans certains cas le nombre de routes était excessif et la construction était effectuée de façon négligente; les éboulis ou les dépôts de débris organiques dans les rivières et les ruisseaux sont à l'origine de la destruction de l'habitat des poissons (Toews et Moore, 1982). Les forêts de la côte et de l'Intérieur ont fait l'objet de beaucoup d'études et de rapports (United States Forest Service, 1979*a*; Finnis *et al.*, 1973). Les restrictions relatives à l'exploitation forestière sont rigoureuses et se fondent principalement sur des principes directeurs élaborés conjointement par le gouvernement et l'industrie.

Parmi les phénomènes particuliers qui suscitent d'importantes préoccupations, mentionnons la destruction de l'habitat des poissons, particulièrement du saumon. Les conflits de juridiction concernant l'habitat du saumon, qui relève du gouvernement fédéral, et l'exploitation forestière sur les terres de la Couronne, qui relève des gouvernements provinciaux, ont soulevé de nombreuses controverses. Les problèmes de la stabilité des versants et des mouvements de masse (glissements) associés à l'exploitation des peuplements qui croissent sur les versants escarpés des îles de la Reine-Charlotte constituent un exemple de conflit juridictionnel (Poulin, 1981). La figure 3 donne les différentes étapes de l'étude des interactions poisson-foresterie.

FIGURE 3.

Composantes de l'étude des interactions poisson-foresterie dans les îles de la Reine-Charlotte (Colombie-Britannique)



Source : Poulin, 1981.

Dans les forêts côtières de haute altitude associées au cyprès jaune, à la pruche subalpine et au sapin gracieux, arbres dont la saison de croissance est courte en raison des épaisses accumulations de neige, on s'inquiète beaucoup de la faible régénération à la suite de la coupe rase (Reuter, 1973). Dans ces forêts âgées, seules les opérations de coupe rase sont rentables, la régénération préexistante[9] des sapins est souvent de qualité médiocre, et il y a eu peu de tentatives d'ensemencement des espèces de haute altitude.

Certaines restrictions ont été imposées en ce qui concerne la superficie des zones de coupe rase, et les coupes rases progressives, où les arbres matures étaient abattus rapidement sur de vastes étendues, ont été interdites. La figure 4 présente les interactions préjudiciables qui risquent de se produire entre les méthodes d'aménagement forestier et les facteurs associés à la dété-

rioration du site. Bien que les techniques de régénération, de protection et de traitement des peuplements soient moins dommageables que l'exploitation même et la construction des routes, elles ont créé des difficultés chez les gestionnaires qui sont tenus de respecter certaines normes de qualité de l'eau (voir figure 5).

Le détail de l'évaluation des perturbations possibles des objectifs de la qualité de l'eau a déjà été présenté (United States Forest Service, 1980). Les impacts de la plupart des opérations sylvicoles sur la qualité de l'eau font l'objet du tableau 4.

Il s'agit d'«*un simple tableau où les activités sylvicoles sont présentées dans une colonne, et les possibilités de perturbations dues à chaque activité, dans l'autre. Les impacts énumérés pour chaque activité sylvicole sont d'ordre général et devront sans doute être étudiés en fonction des conditions locales.*

Les activités sylvicoles mentionnées sont:

1. *Méthodes de coupe*
2. *Abattage*
3. *Méthodes de débusquage*
4. *Réseau routier et possibilités d'accès*
5. *Méthodes de gestion des carburants*
6. *Préparation du site*
7. *Autres activités*

Parmi les effets préjudiciables sur le site, mentionnons:

1. *Dissémination et épandage des produits chimiques*
2. *Dénudation*
3. *Modifications du gradient des canaux*
4. *Tassement*
5. *Accumulation de débris dans les canaux*
6. *Augmentation excessive du niveau d'eau*
7. *Modifications de l'équilibre des produits chimiques du site*
8. *Modifications de la configuration des versants*
9. *Modifications des sources d'ombre en bordure des cours d'eau*
10. *Modifications de la végétation*
11. *Concentration d'eau*

Le tableau 4 peut servir à deux fins :

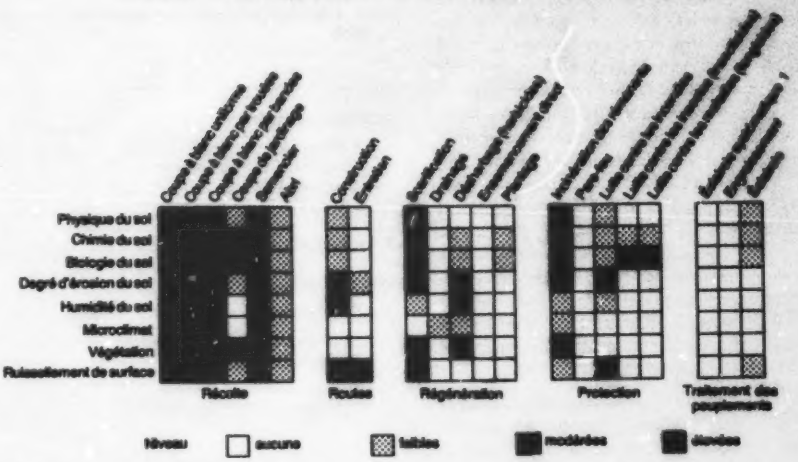
1. *Élaborer les plans d'opérations sylvicoles.*
2. *Déterminer les variables touchées et les sources de perturbation au cours des essais de simulation présentés dans les guides.*»*

(United States Forest Service, 1980).

Il est également important de reconnaître que l'exploitation forestière n'est pas nécessairement préjudiciable aux poissons. Un certain degré de réchauffement et d'enrichissement des eaux par les substances nutritives peut favoriser la productivité des cours d'eau glaciaux des montagnes.

FIGURE 4.

Interactions potentiellement nuisibles entres les méthodes d'aménagement forestier et la dégradation du site — paramètres connexes

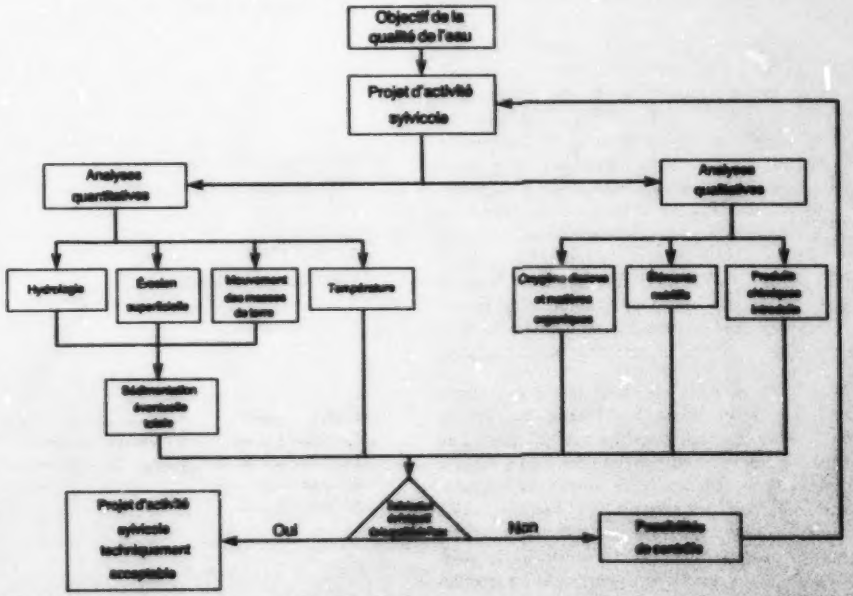


1 Selon un espacement minimal

Source : Fiwis et al., 1973.

FIGURE 5.

Effets d'une activité de sylviculture sur un objectif de la qualité de l'eau



Relations existant entre les facteurs de quantité, de qualité et de contrôle et leur application à un projet d'activité sylvicole.

Source : U.S. Forest Service, 1980.

Région au nord du 60° et Nouveau-Québec

Dans les territoires du Nord, les peuplements ne sont généralement pas commercialisables en raison de leur taille et de leur volume (cartes 1 [forêts et terres dénudées], 2 et 3). Les forêts boréales n'atteignent des volumes commerciaux que dans les zones situées près du fleuve MacKenzie et de la baie d'Ungava et se composent surtout d'épinettes blanches et d'épinettes noires. Les épinettes blanches qui croissent au fond des vallées du Yukon ont été principalement exploitées pour la production de grumes de sciage. En Alaska, l'exploitation forestière a pris plus d'importance. Les épinettes blanches mesurent en moyenne de 18 à 24 m de hauteur et de 25 à 36 cm de diamètre. Les données sur la biologie de ces forêts de haute latitude sont exhaustives (Zasada *et al.*, 1977).

Les deux principaux types de contraintes concernent la régénération restreinte des peuplements d'épinette blanche et la détermination des mesures de lutte contre les incendies. Une régénération restreinte caractérise presque toutes les zones d'épinette blanche. Dans les vallées où croissent de nombreuses espèces végétales, la compétition entrave la régénération et l'ensemencement naturel. En ce qui concerne la lutte contre les incendies, il est essentiel de déterminer quelles sont les mesures nécessaires pour maîtriser ou éteindre les feux de friches. Dans cette région, l'origine des incendies est bien connue: il s'agit d'un phénomène naturel entraîné habituellement par un coup de foudre. Dans les peuplements de faible valeur économique, les politiques en matière de lutte contre les incendies sont déterminées en fonction des avantages et des inconvénients futurs des structures d'âges équilibrées et non équilibrées au cours des 100 prochaines années ainsi qu'en fonction des liens qui existent entre les incendies, la végétation, le sol, le caribou des toundras et les animaux à fourrure. Les lichens qui croissent sur le sol et sur les arbres constituent une source d'alimentation des caribous en hiver (à savoir 60 % du fourrage d'hiver). Les incendies de forêt peuvent détruire cet habitat indispensable en hiver (Scotter, 1971). Selon les politiques, aucune mesure de lutte contre les incendies n'est prise à moins que le feu ne menace un habitat, des peuplements d'un intérêt particulier ou une localité.

Les forêts de cette région ne feront sans doute jamais l'objet d'une exploitation de grande envergure. En raison des faillites récentes ou du faible rendement économique des usines de pâte au Canada, les nouvelles usines ne risquent guère d'attirer les investisseurs (Mathias, 1971; Loomis, 1979). Les principaux facteurs défavorables de cette région sont l'isolement, le manque de loisirs, le climat rigoureux et les grandes distances entre le lieu d'exploitation et les marchés. Selon toute probabilité, les vastes zones forestières du nord du Canada conserveront

TABLEAU 4.
Activités sylvicoles et connexes et incidences potentiellement nuisibles des ressources concomitantes sur la qualité de l'eau

Activités	Incidences potentiellement nuisibles des ressources
Méthodes de coupe	
Coupe rase	Surplus d'eau Modifications de l'intensité d'ombre le long du cours d'eau Changement de la végétation
Coupe rase avec semenciers	
Coupe de jardinage	
Coupe progressive	
Abattage	Débris dans le chenal Changement de la végétation
Méthodes de débusquage	
Débusquage du bois de pulpe à la main	Tassement
Débusquage par traction animale	Sol dénudé Tassement Concentration des eaux
Débusquage au tracteur	
Câblage — téléphérage relevé	Sol dénudé Concentration des eaux
Câblage — câble-grue	Sol dénudé Modifications de la configuration des versants
Câblage — ballon	Sol dénudé
Débusquage aérien	Modifications du bilan chimique du site
Exploitation mécanisée (abatteuse, empileuse, etc.)	Sol dénudé Tassement Concentration des eaux
Routes et réseau d'accès	
Construction et entretien	Dérive et épandage aériens de produits chimiques (poussière) Sol dénudé Modifications du gradient du chenal Tassement Accumulation de débris dans le chenal Modifications de la configuration des versants Modifications de la végétation
Méthodes de gestion des combustibles	
Enfouissement des rémanents	Sol dénudé Tassement Modifications de la configuration des versants
Lignes d'arrêt et pare-feu	Sol dénudé Tassement Modifications de la configuration des versants Concentration des eaux
Brûlage extensif	Dérive et épandage aériens de produits chimiques (cendres) Sol dénudé Tassement Accumulation de débris dans le chenal Surplus d'eau Modifications du bilan chimique du site Changement de la végétation Concentration des eaux
Empilage à la main — brûlage des rémanents	
Empilage mécanisé — brûlage des rémanents	
Brûlage dirigé	
Brûlage localisé	
Débusquage des produits non commercialisables	Sol dénudé Tassement Accumulation de débris dans le chenal

Hachage et épandage des rémanents	Accumulation de débris dans le chenal
Broyeur motorisé	Tassements Modifications du bilan chimique du site Changement de la végétation
Déchiquetage et dispersion Broyage	Tassement Accumulation de débris dans le chenal Modifications du bilan chimique du site
Préparation du site	
Coupe par bandes au bouteur	Sol dénudé Tassement Surplus d'eau Modifications de la configuration des versants Changement de la végétation Concentration des eaux
Terrassement	Sol dénudé Tassement Surplus d'eau Modifications de la configuration des versants
Dégazonnage mécanisé	Sol dénudé Tassement
Préparation des lits	Sol dénudé Concentration des eaux
Labour à la charrue Labour à la charrue à disques	Sol dénudé Accumulation de débris dans le chenal Modifications de la configuration des versants Changement de la végétation Concentration des eaux
Traîneaux niveleurs	Sol dénudé Tassement Changement de la végétation Concentration de l'eau
Drainage	Sol dénudé Concentration des eaux
Traitement chimique	Dérive et épandage aériens de produits chimiques Accumulation de débris dans le chenal Changement de la végétation
Autres activités	
Plantage mécanisé	Tassement Concentration des eaux
Allégement de concurrence végétale	
Incendie	Voir brûlage extensif
Produits chimiques	Dérive et épandage aériens de produits chimiques
Machine	Tassement Concentration des eaux
Éclaircie et nettoyage	
À la main	Accumulation de débris dans le chenal Changement de la végétation
Mécanisé	Tassement Accumulation de débris dans le chenal Changement de la végétation
Fécondation Ensemencement avec des semences améliorées	Dérive et épandage aériens de produits chimiques Modifications du bilan chimique du site Changement de la végétation

Source: U. S. Forest Service, 1980.

sans doute leur état naturel tout en étant périodiquement incendiées.

QUESTIONS PARTICULIÈRES

La présente section sur des questions forestières particulières ne portera pas sur l'utilisation des pesticides et des herbicides, qui, de nos jours, est au centre de vifs débats en bien des endroits au Canada. L'auteur reconnaît que ce sont là des problèmes préoccupants. Toutefois, en raison de l'importante documentation existante à ce sujet et du grand nombre de rapports en préparation, il n'en traitera pas dans la présente section.

Récolte et fertilité des sites

Les terres forestières, contrairement aux terres agricoles, récupèrent les éléments nutritifs de la litière (feuilles, ramilles et fleurs tombées). Dans les forêts denses, les éléments nutritifs ont des cycles très «étanches», une quantité minime gagnant les cours d'eau et les eaux souterraines. La plupart des cours d'eau s'écoulant des forêts septentrionales ont une faible capacité nutritive ou sont dits «oligotrophes» (infertiles). Les préoccupations soulevées par les cycles des éléments nutritifs dans les forêts remontent aux premières études allemandes à ce sujet. Celles-ci relevaient des baisses de fertilité dans les forêts d'épinette et de pin après que les aiguilles avaient été enlevées de la couverture morte. Les paysans ont toujours eu le droit d'y ramasser les aiguilles pour faire des litières pour leurs animaux et pour engraisser leurs jardins (Weetman et Webber, 1972). Il a été démontré que la fertilité des forêts européennes, où on s'est contenté d'enlever les troncs d'arbres pendant 100 à 200 ans, n'a pas diminué, car le bois et l'écorce contiennent peu d'éléments nutritifs. Les apports de la poussière, des précipitations et de la météorisation à l'écosystème forestier compensent ces disparitions peu fréquentes d'éléments nutritifs. Cette exploitation par fûts entiers était la seule méthode utilisée en Europe et en Amérique du Nord jusqu'à récemment. Depuis les années 1960, on tente de mécaniser la récolte; on doit parfois enlever les arbres (toute la partie aérienne) et les transporter sur le côté de la route pour les ébrancher (exploitation par arbres entiers). Ce mode d'exploitation consiste à enlever toutes les feuilles et les branches, riches en éléments nutritifs, et entraîne un fort appauvrissement du site en substances nutritives. Le calcul des bilans nutritifs des forêts exploitées par arbres entiers permet de supposer que les apports contrebalanceront probablement les exportations à long terme (50–100 ans) entre les coupes (tableau 5), mais non

pas à plus court terme. Il n'est pas recommandé d'avoir recours à l'exploitation par arbres entiers dans les forêts à faibles réserves en éléments nutritifs.

Au Canada, à l'heure actuelle, l'exploitation par arbres entiers est rare, seulement 5 % des arbres ayant été abattus de cette façon à l'est de la Saskatchewan en 1978 (Association canadienne des pâtes et papiers, 1981). Chaque année au Canada, des arbres sont abattus sur quelque 0,8 million d'hectares, dont environ 0,6 million à l'est de la Saskatchewan. Environ 30 000 ha sont exploités par arbres entiers chaque année, presque tous faisant l'objet de longues révolutions. Les plantations destinées à la production d'une biomasse énergétique ne sont encore qu'au stade expérimental, principalement dans l'est de l'Ontario; il reste à prouver leur rentabilité. Elles exigent des apports d'énergie sous forme de cultures, d'herbicides et d'engrais.

L'épuisement d'un site causé par les exportations d'éléments nutritifs engendrées par la récolte des arbres ne semble plus être une préoccupation majeure, pourvu que l'exploitation par arbres entiers se limite aux sites appropriés.

À la suite de la crise du pétrole du milieu des années 1970, on s'est tourné vers les forêts comme source d'énergie naturelle. De nombreuses études ont été effectuées pour calculer les réserves totales de biomasse dans les forêts dans le cadre du programme fédéral de l'Énergie de la forêt (ENFOR). De nouveaux calculs ont été effectués d'après la récolte de biomasse pour maximiser la production d'énergie. En théorie, les peuplements cultivés spécialement pour la production d'énergie (plantations énergétiques) devraient être coupés suivant une rotation de courte durée (2–15 ans). On cultive maintenant des arbres qui se reproduisent par drageonnage ou bouturage, comme certaines espèces de peupliers et de saules. Ils sont surtout plantés sur des sols cultivés et présentent les caractéristiques des cultures agricoles. Pour des récoltes intensives à révolution de courte durée qui s'accompagnent de fortes exportations d'éléments nutritifs, il faudra épandre de façon répétée des engrais pour conserver la fertilité du sol (Freedman, 1981).

La coupe répétée des taillis[19], comme ceux composés de chênes, espèce qui drageonne, a toujours été une source de bois de chauffage et de charbon en Europe et dans certaines parties de l'Amérique du Nord. Cette pratique a été délaissée avec l'apparition des combustibles fossiles, mais elle pourrait bien resurgir dans certaines parties de l'Europe et de l'Amérique du Nord si les ressources énergétiques non renouvelables deviennent trop coûteuses. La majeure partie du bois coupé dans le monde sert de combustible: le bois et le charbon répondent à au moins 90 % des besoins en énergie d'un milliard et demi de personnes dans les pays en développement (National Academy of Sciences, 1980; Barney, 1981).

Les feux de rémanents, qui consument la couche d'humus renfermant la majeure partie des réserves d'éléments nutritifs disponibles, sont plus préoccupants, car ils épuisent la fertilité des sites à faible productivité. Ces sites se retrouvent souvent à flanc de montagne, dans des sols rocheux ou très minces. On avait souvent recours au brûlage délibéré des rémanents en Colombie-Britannique, mais cette pratique est maintenant interdite, même s'il se produit encore des feux naturels et des feux de friches allumés par l'homme. De vastes feux de friches se sont toujours produits dans des sites à faible productivité de la forêt boréale canadienne, souvent après une coupe qui laisse des tas de rémanents dangereux. Les sites récupèrent lentement leur fertilité. Les incendies de la fin des années 1930 dans les monts Chic-Chocs de la Gaspésie, au Québec, en sont des exemples. Les graves feux de friches qui ont dévasté les forêts d'épinette noire de haute altitude ont donné des forêts à faible taux de renouvellement dont la fertilité réside principalement dans une mince couche de lichen.

Les feux de friches se produisant après une coupe ont toujours été très courants. Ils étaient particulièrement nuisibles lorsqu'ils touchaient de jeunes peuplements avant la production de semences. Les terres dénudées et les landes de Terre-Neuve (Damman, 1964), de Nouvelle-Écosse (Wall, 1977) et du Québec sont des exemples de baisse réelle de la productivité forestière engendrée par des incendies qui ont suivi leur exploitation.

L'enlèvement des horizons supérieurs du sol, soit directement à l'aide de bouteurs, soit par érosion ultérieure du sol, est l'incidence la plus immédiate de l'exploitation forestière sur la fertilité d'un site. La couverture morte était peu perturbée par l'exploitation d'hiver sur la neige, méthode qui a été populaire jusqu'aux années 1960. La fertilité des forêts canadiennes, en réserves d'éléments nutritifs, est surtout concentrée dans les 10-20 cm supérieurs de la couverture morte organique et dans le sol minéral sous-jacent. Lorsque l'exploitation forestière se fait à l'aide de tracteurs débardeurs à roues, de débardeurs à câble ou par débardage par ballon, le pourcentage réel de sol minéral exposé de la région déboisée est habituellement très faible. Les valeurs de l'exposition du sol minéral (ESM) vont de 5 à 20 % (Sidle, 1980). Les valeurs de l'ESM peuvent atteindre plus de 70 % si le débardage se fait à l'aide de bouteurs. En pratique, les problèmes engendrés par le débardage par tracteurs ont tendance à se produire sur des pentes à déclivité de 25 % et plus, où les tracteurs débardeurs à roues ne peuvent être manoeuvrés en toute sécurité. Les bûcherons ne peuvent souvent pas s'acheter le matériel trop coûteux de débardage par câbles. Il faut de plus en plus avoir recours au débardage par câbles sur les pentes abruptes, mais nombre de forêts à flanc de montagne ont toujours été

Photo 11. En comparaison de la récolte des troncs seuls, l'enlèvement de toutes les parties aériennes des arbres augmente les risques d'approvisionnement en substances nutritives. Cette perte peut réduire la fertilité du sol sur les sites où les concentrations de substances nutritives sont faibles, comme les sites de pin gris et de lichens dans la forêt boréale.
G.F. Weetman

Photo 12. Les gros incendies de forêt qui ravagent les zones d'exploitation peuvent réduire la fertilité du site en éliminant l'humus sur les sols peu profonds.
G.F. Weetman

TABLEAU 5.
Éléments nutritifs éliminés dans la biomasse récoltée par des méthodes d'exploitation intensive, exprimés par rapport aux apports totaux, aux flux nets et aux groupements de sols
(Peuplement d'épinette rouge — sapin baumier de tout âge)

Catégorie	Biomasse	N	P	K	Ca	Mg
Élimination par l'exploitation forestière (kg/ha par 100 ans)						
a) Coupe rase traditionnelle	118 000	120	18,2	76	219	20,4
b) Coupe rase par arbres entiers	153 000	239	35,2	133	337	36,9
Apports (kg/ha par 100 ans)						
a) précipitation		600	40	170	720	170
b) météorisation		0	60	500	1 800	500
c) fixation de N_2		1 000	—	—	—	—
Apports totaux		1 600	100	670	2 520	670
Flux nets (kg/ha par 100 ans)		700	30	-60	-700	-200
Groupement des sols (kg/ha)						
a) total, horizon racinaire (39 cm)		3 760	1 280	13 400	5 750	1 770
b) disponible, horizon racinaire		47	105	73	110	39
Exploitation traditionnelle, % des apports totaux		8	18	11	9	3.0
Exploitation par arbres entiers, % des apports totaux		15	35	20	13	5.5
Exploitation traditionnelle, % du flux net		17	61	-127	-31	-10
Exploitation par arbres entiers, % du flux net		34	117	-222	-48	-18
Exploitation traditionnelle, % de l'ensemble des sols		3,2	1,4	0,6	3,8	1,2
Exploitation par arbres entiers, % de l'ensemble des sols		6,4	2,8	1,0	5,9	2,1
Exploitation traditionnelle, % des sols disponibles		255	17	105	199	52
Exploitation par arbres entiers, % des sols disponibles		509	34	182	306	95

Source: Freedman, 1981.

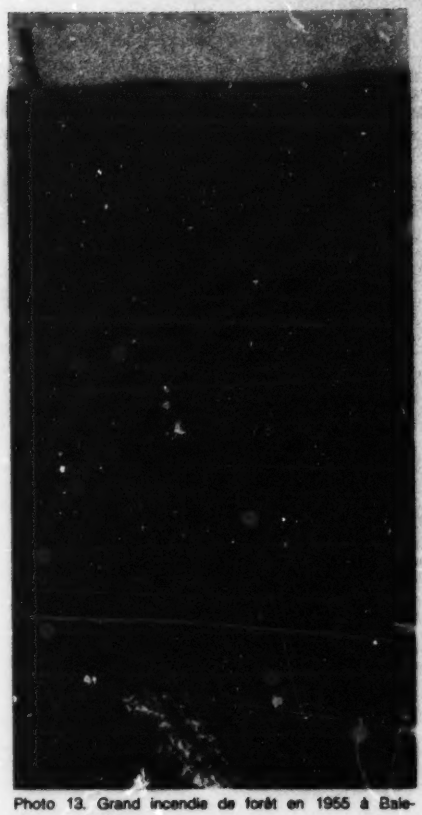


Photo 13. Grand incendie de forêt en 1955 à Baie-Comeau (Québec).
G.F. Weetman

exploitées avec des bouteurs et le sont encore. L'usage de ces engins sur des versants entraîne la formation d'une série de terrasses.

La disparition de la litière expose le sol à l'érosion pluviale; la structure grenue du sol se désagrège et de fines particules bouchent les pores du sol sous-jacent, réduisant son taux d'absorption de l'eau. L'érosion pluviale cinétique peut entraîner les sédiments en bas de pente. Les grands pores du sol sont tassés par l'action des bouteurs, et il s'ensuit une augmentation de la densité du sol. Des études des semis plantés dans les chemins de débardage ont montré une diminution de leur taux de croissance (Smith et Wass, 1980; Adams et Froehlich, 1981). Le tassement du sol sera vraisemblablement un problème dans les sols à texture fine, comme dans la ceinture d'argile de l'Ontario, et dans les régions sans gel, comme les montagnes du sud de la Colombie-Britannique. Dans la plupart des autres régions du Canada, les cycles de gel et de dégel du sol ont tendance à réduire le tassement.

Il semble que les méthodes traditionnelles d'exploitation forestière n'entraînent pas vraiment de pertes réelles de fertilité si la couverture morte n'est pas perturbée. La croissance vigoureuse des peuplements en apparence dévastés par l'exploitation forestière chaotique du début du siècle en est la preuve. On peut éviter en grande partie les pertes de fertilité en limitant l'utilisation des bouteurs et l'exposition des sols minéraux sur les pentes abruptes. Il existe des lignes directrices et des politiques provinciales régissant les méthodes d'exploitation forestière en montagne (Smith, 1973). Jusqu'ici, aucune étude multidisciplinaire ni aucun relevé des incidences environnementales n'a été nécessaire pour obtenir un permis de coupe, sauf dans des endroits particuliers. La réglementation des méthodes de coupe a été beaucoup plus sévère sur les terres boisées nationales des États-Unis (Spurr, 1981). Les tableaux 6 et 7 présentent certaines des lignes directrices de 1972 et 1976. Il existe des guides de lutte contre l'érosion pour la construction de routes; ils prescrivent la «revégétation» des sols exposés à l'aide de semences mixtes, comme le long des grandes routes provinciales (Carr, 1980).

Récolte et régénération

Le problème de la régénération des terres déboisées du Canada est l'un des effets négatifs le plus important et probablement le plus permanent, mais le moins visible. L'industrie récolte les arbres sur quelque 800 000 ha par année, dont seulement 200 000 ha ont été plantés ou ensemencés artificiellement. Près de 200 000 à 300 000 ha se régénèrent assez bien naturellement, le reste de la superficie restant inculte pendant un certain temps ou se transformant en plantes indésirables non marchandes et en scrub (Environnement Canada, 1981). Ce problème existe depuis longtemps et est très préoccupant à l'échelle nationale (Weetman, 1977; Banque Royale du Canada, 1979). Sur le plan biologique, il se trouve habituellement à mi-chemin entre une perturbation causée par un incendie ou des insectes (à laquelle les arbres sont adaptés) et une perturbation causée par l'exploitation forestière. L'exploitation forestière ne laisse souvent pas derrière elle de bons lits de germi-

nation permettant une nouvelle régénération en raison du peu d'exposition des sols minéraux. Ces sols sont de meilleurs lits de germination que la litière, qui a tendance à s'assécher. L'exploitation forestière peut anéantir les sources de semences ou empêcher la sortie de la graine des cônes sérotineux (comme chez le pin gris et le pin tordu latifolié), qui ont besoin de chaleur pour rompre leurs zones d'adhérence sur les écailles. L'exploitation forestière peut ne pas éliminer la compétition végétative dans les sites riches ou peut détruire les semis établis (régénération préexistante) qui s'y trouvaient auparavant. Elle peut y laisser des arbres, qui sont des espèces non voulues (comme le peuplier) ou d'une forme inadéquate et qui finiront par dominer le nouveau peuplement.

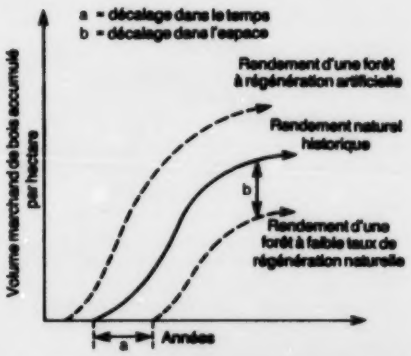
La sylviculture prescrit diverses solutions à ces problèmes spécifiques aux sites; elles dépendent des modes de reproduction des espèces d'arbres et de l'évolution et des conditions de la forêt. Ces solutions prévoient habituellement la scarification (c'est-à-dire la perturbation mécanique de la couverture morte), l'ensemencement direct, le plantage d'arbres, l'utilisation d'herbicides pour lutter contre les broussailles de même que l'éclaircie ultérieure pour favoriser la croissance d'un moins grand nombre de tiges et réduire l'âge d'exploitabilité. La figure 6 illustre les effets d'une mauvaise régénération sur la période et le rendement de la récolte de bois suivante.

Le taux actuel de coupe (coupe annuelle permise ou CAP) sur les terres forestières de la Couronne provinciale est le niveau approximatif de récolte qui peut être conservé indéfiniment en vertu des normes actuelles de gestion et d'utilisation des peuplements forestiers, c'est-à-dire dans le cadre d'un aménagement en production soutenue. À l'heure actuelle, la CAP est habituellement basée sur le rendement naturel passé de la forêt. Si les rendements futurs sont supérieurs ou inférieurs à ce niveau, la CAP doit être modifiée en conséquence. La période et l'importance de la CAP dépendent de la structure des classes d'âge de la forêt dans l'unité de production soutenue, c'est-à-dire la superficie couverte par chaque classe d'âge et l'importance de son rendement estimatif au moment de la récolte.

La structure des classes d'âges est très déséquilibrée dans de nombreuses unités de gestion du Canada. Les aménagistes provinciaux qui ont calculé la coupe permise dans les unités de production soutenue ont trouvé des déficits dans les réserves actuelles et prochaines de bois destinées aux scieries et aux usines de pâtes. Ils ont effectué ces calculs à l'aide de modèles informatisés de forêts réelles qui simulent la croissance de la forêt pour une ou deux révolutions. Ces modèles peuvent examiner les incidences de meilleures méthodes de régénération et de protection des peuplements sur les coupes futures permises. Ces analyses dynamiques des ressources forestières canadiennes ont présenté une image alarmante des réserves de bois rentables et ont entraîné la tenue de congrès (Association canadienne des pâtes et papiers, 1980) et de symposiums (Conférence nationale sur la régénération forestière, 1980), et la rédaction de rapports d'étude (F.L.C. Reed & Associates, 1978) destinés à élaborer des mesures pour remédier à cette situation.

Même si la solution consiste en partie à accroître les activités de plantage, la stratégie d'amélioration des réserves de bois comporte également la préparation du site, la scarification, l'ensemencement, l'utilisation d'herbicides, l'éclaircie, la fertilisation et, par-dessus tout, la réglementation de l'emplacement et de la période d'exploitation. Le manque d'argent est le principal obstacle à la mise en oeuvre de ces plans.

FIGURE 6.
Modifications techniques du rendement des peuplements forestiers causées par des changements des rendements naturels historiques



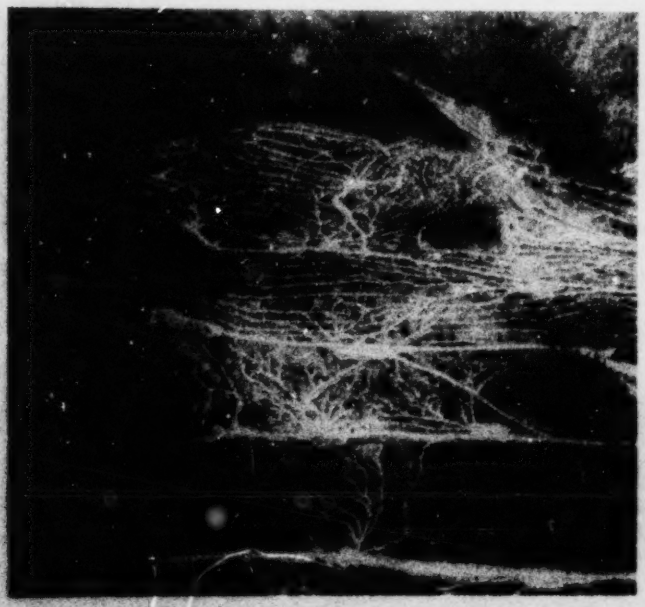


Photo 14. L'enlèvement de l'humus forestier et de la couche superficielle de sol minéral entraîné par la construction des routes pour camions et débusqueuses réduit la fertilité du site.
P. van Hees, Service des forêts de la Colombie-Britannique

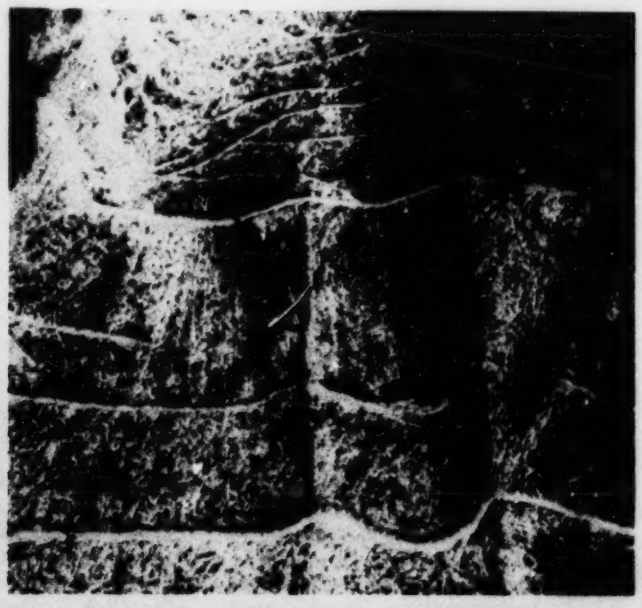


Photo 15. Cette photo montre la dégradation du sol due à l'utilisation des systèmes de débusquage par câbles et par tracteurs sur les montagnes côtières escarpées de la Colombie-Britannique.
P. van Hees, Service des forêts de la Colombie-Britannique

TABLEAU 6.
Lignes directrices sur la coupe rase aux États-Unis: lignes directrices de Church relatives aux terres fédérales, 1972

1. Coupe admissible
   a. Il faut revoir et modifier périodiquement la coupe admissible sur les terres forestières fédérales pour s'assurer que les terres sur lesquelles elle est basée sont disponibles et propres à l'exploitation conformément à ces lignes directrices.
   b. Des augmentations de la coupe admissible basées sur l'intensification des méthodes d'aménagement, comme le reboisement, l'éclaircie, l'amélioration des arbres et autres, ne doivent être acceptées que s'il est démontré que de telles méthodes justifient des augmentations de la coupe admissible et que s'il est prouvé que les fonds disponibles sont suffisants pour les mener à bien.
   Si les mesures d'exploitation intensives planifiées manquent de fonds et, par conséquent, doivent être retardées, il faut réduire en conséquence la coupe admissible.
2. Limites de coupes
   Il ne faut pas avoir recours à la coupe rase sur les terres fédérales dans les régions où:
   a. le sol, les versants ou d'autres éléments du bassin versant sont fragiles et vulnérables;
   b. il n'y a aucune garantie que la région peut être repeuplée adéquatement en moins de cinq ans après la coupe;
   c. les valeurs esthétiques surpassent toute autre considération;
   d. on a recours à cette méthode uniquement parce qu'elle donnera le rendement monétaire le plus élevé ou le rendement unitaire le plus fort.
3. La coupe rase ne devrait être permise que:
   a. si elle a été jugée essentielle, sur le plan sylvicole, pour atteindre les objectifs d'aménagement forestiers pertinents;
   b. si la taille des blocs, des placettes ou des bandes de coupe rase reste au minimum nécessaire pour atteindre les objectifs de sylviculture et d'aménagement forestier de l'utilisation multiple;
   c. si une étude multidisciplinaire a tout d'abord été effectuée sur les incidences éventuelles de chaque région de bois sur pied vendus sur le plan environnemental, biologique, esthétique, technique et économique;
   d. si les blocs, les placettes ou les bandes de coupe rase respectent, sans exception et dans la mesure du possible, la configuration naturelle du terrain et s'y fondent bien.
4. Contrats de vente de bois
   Les contrats fédéraux de vente de bois doivent contenir des conditions pour s'assurer que toutes les mesures possibles sont prises pour minimiser ou éviter les incidences environnementales nuisibles de la coupe de bois, même si de telles mesures peuvent entraîner des rendements nets plus faibles pour le ministère des Finances.

Source: Spurr, 1981.

L'aspect politique (et le noeud) du problème réside dans le fait que les forêts sont de propriété publique et que les gouvernements provinciaux ont été incapables ou ont refusé d'obtenir des fonds pour ces travaux à une échelle appropriée.

L'aspect légal du problème suscité par cette contrainte se reflète dans le système de permis d'exploitation du bois d'oeuvre. Les détenteurs de ces permis, en général de grosses compagnies, ne peuvent détenir des actions sur le bois de la Couronne.

Les travaux de régénération doivent être payés par le propriétaire foncier (la province) par prélèvement direct sur les droits de coupe (Colombie-Britannique), par entente contractuelle (Ontario) ou par taxe spéciale d'exploitation forestière du bois (Québec). À l'échelle nationale, les gouvernements ont eu de plus en plus tendance à recourir à ces ententes avec les sociétés détentrices de permis pour obtenir des fonds et mettre en oeuvre les travaux de régénération. En retour, les détenteurs de permis ont demandé et obtenu de longues périodes de jouissance locative conditionnelles au rendement de l'aménagement forestier (principe du sempervirant). Les sociétés ont créé des pépinières forestières. Elles prennent maintenant des mesures pour convaincre les gouvernements de la nécessité d'investir des fonds en sylviculture, en soulignant que ces travaux sont une forme d'autofinancement, c'est-à-dire que l'utilisation immédiate des augmentations prévues de la coupe permise (effet de la coupe permise) engendreront des rentrées fiscales qui paieront largement les travaux de sylviculture.

La demande présentée par la Shuswap Okanagan Forest Association (SOFA) au gouvernement de la Colombie-Britannique est un exemple récent du problème national d'approvisionnement en bois (Crown Zellerbach Canada Ltd., 1980). La SOFA représente tous les détenteurs de permis de coupe d'unités à rendement soutenu des terres de la Couronne.

Les chiffres suivants de l'exemple de la SOFA (figures 7, 8 et 9) montrent l'atténuation de la perturbation provoquée par l'insuffisance des réserves de bois faute de régénération. Ces chiffres sont tirés d'une analyse informatique du problème d'approvisionnement en bois dans la région Shuswap – Okanagane en Colombie-Britannique. Ce sont les résultats d'un programme élargi de sylviculture à trois options (options 1, 3 et 4) – le plantage, le réaménagement des vieilles forêts et l'espacement (soit séparément, soit en combinaison) – pour améliorer les rendements des peuplements et les classes d'âges des forêts d'ici 150 ans. L'analyse révèle que la coupe permise actuelle peut être augmentée, les rentrées fiscales payant le programme de sylviculture.

La figure 7 montre le déséquilibre actuel de la structure des classes d'âges de la forêt. On y trouve 375 000 ha de peuplements âgés (190 ans et plus) prêts à être récoltés, mais la coupe de ce bois doit être étalée dans le temps pour permettre aux jeunes sujets d'arriver à maturité. Il y a également 100 000 ha de terres à peuplement inadéquat. La figure 8 présente le problème de l'approvisionnement. La coupe actuelle est de $4{,}8 \times 10^6$ m³, mais la coupe permise par le ministère des Forêts n'est que de $2{,}9 \times 10^6$ m³ sur les terres de la Couronne situées dans la région d'approvisionnement en bois (figure 8).

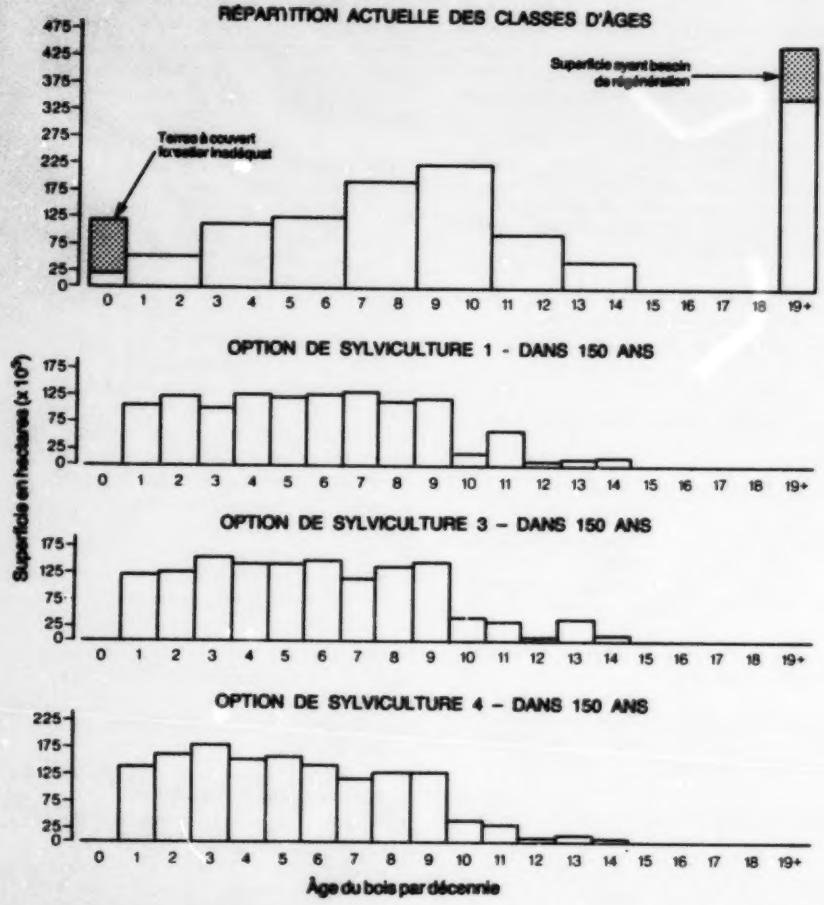
Le taux de coupe permise dans les peuplements forestiers âgés pourrait être augmenté si le taux de croissance des peuplements coupés pouvait être accéléré grâce à des méthodes sylvicoles. Un modèle informatique simulant la croissance de la forêt a permis de poser des hypothèses sur les augmentations de taux de croissance et de rendement possible engendrées par des programmes de plantage et d'éclaircie appliqués à de nouvelles terres déboisées et à des terres à peuplement inadéquat. Le modèle a révélé la relation entre l'intensification des méthodes sylvicoles et le volume indiqué de la coupe annuelle permise en rendement qui est soutenu. L'hypothèse veut que le programme de sylviculture soit possible et que les augmentations de rendement soient atteintes.

La figure 9 montre les coûts et les avantages réalisables. En raison de l'augmentation du taux de récolte, les droits de coupe touchés par la province sur la vente du bois devraient fournir les fonds nécessaires pour payer le programme de sylviculture. L'accroissement de l'effectif industriel entraînera des revenus supplémentaires pour le gouvernement. La figure 7 montre le meilleur équilibre des classes d'âges (superficies équivalentes de bois par classe d'âge) qu'on devrait atteindre d'ici 150 ans.

Ces genres d'analyses stratégiques des réserves de bois permettent de supposer que les mesures sylvicoles majeures qui s'imposent dans certaines parties des terres de la Couronne du Canada s'autofinanceront pourvu qu'on puisse

FIGURE 7.

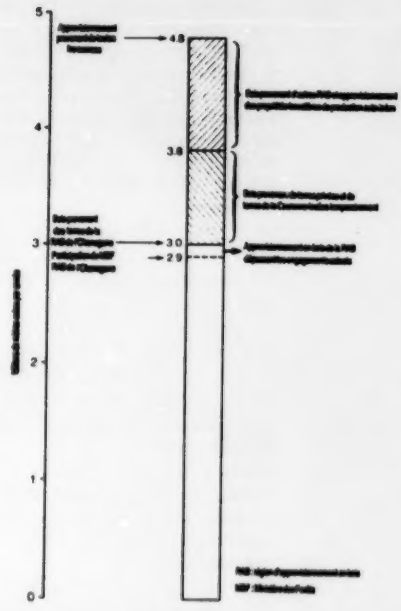
Répartition des classes d'âges: début et fin de la décennie 15



Source : Crown Zellerbach Ltd., 1980.

FIGURE 8.

Sources actuelles d'approvisionnement en bois des usines situées dans la région d'approvisionnement en bois de l'Okanagane



Source : Crown Zellerbach Ltd., 1980.

accélérer la coupe des arbres d'âge mûr. Le financement de la sylviculture est très difficile dans certaines parties du Canada parce que les réserves de bois âgé sont malheureusement déjà épuisées. Le programme de sylviculture du sud de l'Okanagane sera approuvé seulement sur la preuve que les augmentations hypothétiques de rendement sont réalistes et réalisables.

Bien que la politique forestière et l'accroissement des dépenses publiques à ce titre semblent être les solutions au grand problème national de la régénération, l'industrie doit elle aussi s'attendre à investir pour améliorer l'aménagement des forêts. Les aspects biologiques et techniques de la régénération, malgré leur ampleur, ne freinent pas les progrès futurs du renouvellement des forêts du pays. L'exploitation forestière d'autrefois a laissé au Canada des écosystèmes forestiers qui fonctionnent bien sur le plan biologique, mais mal sur le plan économique. L'abattage trop rapide des forêts d'âge mûr ainsi que la mauvaise régénération et le remplacement par des peuplements de qualité inférieure ont entraîné un déclin marqué de l'importance relative de l'industrie du sciage du pin blanc et de l'épinette dans l'est du Canada. Cette diminution, due à l'homme, de la valeur économique des forêts est une forme de contrainte sur les terres forestières qui a des incidences négatives sur la société canadienne, le paysage et certaines populations fauniques.

Récoltes et valeurs panoramiques

De vastes étendues de forêts naturelles composent la majeure partie du paysage forestier canadien. La superficie totale des forêts artificielles est négligeable. La majeure partie de la population canadienne vit dans les villes et considère les forêts naturelles comme des aires de nature sauvage très importantes. Cette perception de la nature sauvage est liée à une forêt non perturbée par l'homme ou du moins où les perturbations ne sont pas évidentes. L'importance et la nécessité de préserver les aires de nature sauvage ont fait l'objet de débats intenses.

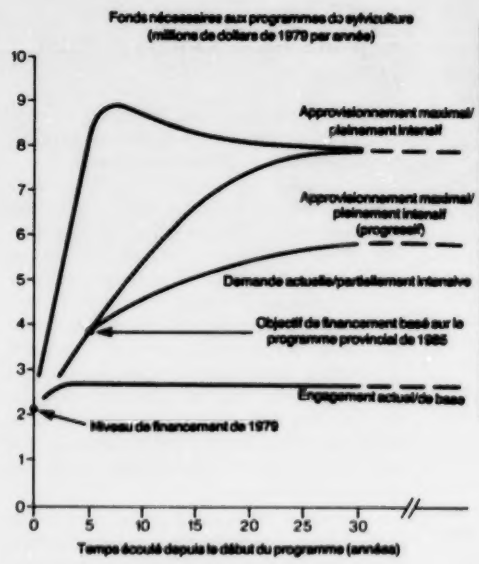
La valorisation par le public des forêts non perturbées a provoqué une série de débats et d'affrontements relatifs à l'exploitation forestière, notamment dans les parcs provinciaux. En Ontario, le parc Algonquin, exploité depuis sa création au siècle dernier, relève maintenant d'une administration spéciale qui réglemente les méthodes d'exploitation forestière. En Colombie-Britannique, un moratoire sur l'exploitation forestière dans les parcs provinciaux a été décrété.

Aménagement paysager des forêts

On a recours à des principes d'aménagement paysager des forêts lorsque des terres boisées sont désignées comme zones d'exploitation pour s'assurer que les critères de qualité visuelle établis sont respectés. La première étape de cette approche consiste à décider des critères. Il existe cinq critères de qualité visuelle: la zone de conservation à l'état naturel, la zone tampon, la zone tampon partielle, la zone d'altération et

FIGURE 9.

Coûts et avantages des solutions d'aménagement forestier dans la région d'approvisionnement en bois de l'Okanagane



Niveau soutenu d'avantages *

Court terme	3.9	4044	31	75
Moyen terme	4.2	4355	34	81
Long terme	5.0	5185	40	96
Conservation	3.8	3941	30	73
Court terme	2.9	3007	23	56
Moyen terme	2.9	3007	23	56
Long terme	2.5	1867	20	48

*NOTE:

1. Les évaluations du niveau soutenu d'avantages de la RAB de l'Okanagane ne tiennent pas compte :
   - d'une augmentation prévue de la valeur réelle des bois sur pied de 2% par année;
   - du plus grand nombre d'emplois et de revenus engendrés par l'augmentation des fonds de 1979 consacrés à la sylviculture; et
   - des emplois indirects qui sont environ trois fois plus nombreux que les emplois directs.
2. Les revenus annuels du bois sur pied sont de 8 $ le mètre cube d'après les évaluations actuelles effectuées dans la région de Kamloops en 1979. Ces revenus ne reflètent pas nécessairement les fluctuations éventuelles (entre des marchés forts et des marchés faibles).
3. Les recettes publiques autres que les droits de coupe sont basées sur des études de *FLC Reed & Associates*, décembre 1978, et de *Crown Zellerbach Canada*, des revenus de l'industrie forestière dans la région de l'Okanagane. Ces études fournissent des évaluations de revenus qui représentent un cycle de quatre années d'exploitation normale.

Source : Crown Zellerbach Ltd., 1980.

la zone d'altération maximale (tableau 8). Leur mise en application exige qu'on procède à un inventaire pour déterminer la vulnérabilité du paysage. Les activités forestières peuvent être ensuite conçues de façon à se fondre dans les caractéristiques du paysage (figure 10).

Cette approche analytique explicite a été utilisée avec succès dans beaucoup de régions d'Amérique du Nord, habituellement celles fréquentées par de nombreux visiteurs. Des lignes directrices particulières à la coupe ont été établies pour différents types de forêts afin de respecter les critères de qualité visuelle. Ainsi, on dispose de recommandations particulières sur la coupe partielle dans des forêts de feuillus d'ombre[11] comme celles du parc Algonquin en Ontario (United States Forest Service, 1979*b*). Il existe également des sytèmes informatiques pour cartographier les paysages (United States Forest Service, 1976*b*). Dans de nombreuses parties du Canada, les permis de coupe sur les terres de la Couronne ne sont pas accordés avant que l'architecte paysagiste n'ait approuvé le plan de coupe. Dans certaines régions, on présente au public des plans de coupe de 5 et 10 ans incorporés à des plans d'utilisation des terres plus vastes pour obtenir des commentaires et une approbation.

Incidences de l'accroissement des mesures de lutte contre les incendies

Depuis la Seconde Guerre mondiale, la protection des forêts contre les incendies a été étendue à toutes les forêts commerciales du Canada. L'ampleur moyenne annuelle des différents brûlis a diminué aux États-Unis et au Canada. L'inquiétude soulevée par la prévention ou la réduction de la fréquence naturelle des incendies s'est accrue parallèlement à la protection contre les incendies. Les mesures de lutte contre les incendies comprennent les aspects négatifs suivants :

a) L'accumulation de combustibles dangereux dans certains types de forêts, entraînant des feux de cimes impossibles à maîtriser au lieu de feux de surface de faible intensité naturelle (Wilson et Dell, 1971).

b) Le remplacement de types de forêts de conifères dépendantes des incendies par des types de couverts forestiers plus tolérants mais moins précieux. Il peut s'ensuivre une diminution de la diversité de la flore et de la faune (Day, 1979).

c) Des incidences sur les populations fauniques, notamment les animaux à fourrure (Lym *et al.*, 1978; Bunnell, 1980).

d) Des augmentations du nombre des insectes et des maladies dans les peuplements non incendiés (Alexander et Hawksworth, 1976).

Des anthropologues, intrigués par l'utilisation que les autochtones faisaient du feu, se sont penchés sur ce phénomène (White, 1972). Lewis (1977) a étudié l'écologie des feux indiens dans le nord de l'Alberta en interrogeant des autochtones âgés qui connaissaient ces métodes avant que des mesures de protection contre les incendies de forêt ne soient prises à l'échelle de la province après 1950. Il a découvert que les Indiens, dans cette partie de la forêt boréale, avaient acquis des connaissances sur les méthodes de gestion des ressources végétales et animales par le feu et les avaient perfectionnées. Comme mesure de gestion, ils allumaient des feux dans les prés à foin et les bourbiers destinés au pâturage et au piégage, pour éliminer les vieilles forêts improductives, pour tuer des arbres qui seraient ramassés à l'automne comme bois de chauffage, pour nettoyer les villages et les immuniser contre le feu, pour ouvrir et entretenir des pistes et pour faire des signaux.

Dans cette même région de l'Alberta, où la fréquence des incendies a toujours été élevée et qui, par conséquent, abrite surtout des peuplements jeunes, des mesures à grande échelle de lutte contre les incendies aideront ces peuplements à atteindre la maturité et permettront d'accroître énormément la coupe permise et de créer plusieurs nouvelles usines de pâtes au siècle prochain, lorsque les ressources pétrolières de l'Alberta seront épuisées. On se trouve, de toute évidence, en face d'un conflit, la protection contre les incendies visant à la production de bois et l'utilisation du feu assurant la conservation des habitats fauniques. Les aspects négatifs de la contrainte dépendent une fois de plus des objectifs de l'aménagement des terres et des

TABLEAU 7.
Extraits de la Loi de l'aménagement des forêts nationales, 1976

- le sol, les versants ou autres éléments du bassin versant ne doivent pas être perturbés de façon irréversible;
- le repeuplement adéquat de ces terres moins de cinq ans après la coupe est garanti;
- des mesures sont prises pour protéger les cours d'eau, les rives, les rivages, les lacs, les marécages et autres étendues d'eau contre les changements de la température de l'eau, l'obstruction de l'écoulement et le dépôt de sédiments, là où les coupes peuvent avoir des incidences graves et nuisibles sur les conditions de l'eau ou l'habitat du poisson;
- le mode d'exploitation n'est pas principalement choisi pour sa rentabilité supérieure ou son rendement unitaire de bois plus élevé.
- Les différents blocs, placettes ou bandes d'exploitation par coupe unique doivent respecter les limites de taille maximale établies par le plan régional en fonction des régions géographiques et des types de forêts. Cette limite peut être inférieure mais non pas supérieure à 60 acres [24 ha] dans les forêts de Douglas taxifolié de la Californie, de l'Oregon et du Washington; à 80 acres [32 ha] pour les régions forestières de pin des marais de l'Alabama, de l'Arkansas, de la Georgie, de la Floride, de la Louisiane, du Mississippi, de la Caroline du Nord, de la Caroline du Sud, de l'Oklahoma, et du Texas; à 100 acres [40 ha] pour la région forestière de pruche-épinette de Sitka de la côte de l'Alaska, et à 40 acres [16 ha] pour toutes les autres régions forestières.

  Des coupes plus importantes sont permises par la réglementation si elles sont souhaitables, sur le plan sylvicole, pour engendrer de meilleurs avantages, si elles sont approuvées par le forestier régional après un avis public de 60 jours ou si le bois doit être récupéré en raison d'un incendie, d'une infestation, d'une épidémie ou d'une tempête de vent.

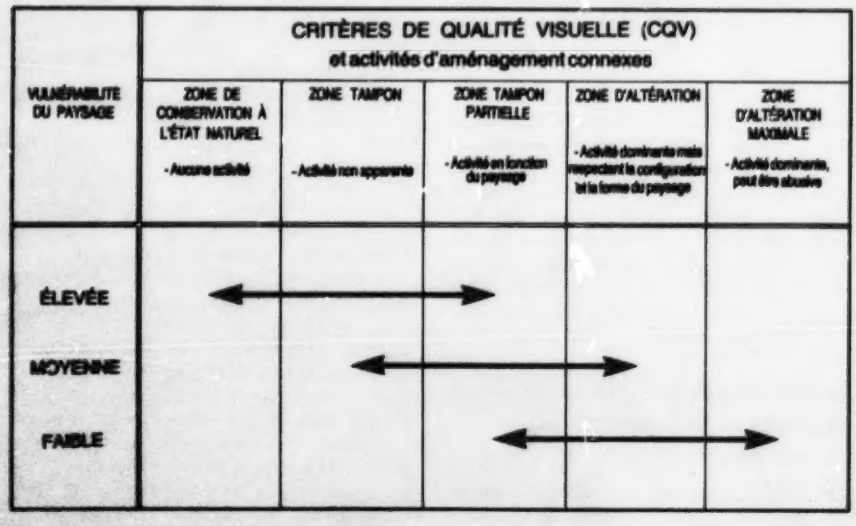
Source: Spurr, 1981.

compromis qu'il faut faire pour multiplier les utilisations.

Day (1979), qui a étudié l'écologie du feu, a montré qu'un plan de gestion des incendies volontaires est essentiel, surtout dans des parcs destinés à la conservation de la nature à l'état sauvage, comme dans le parc provincial Quetico d'une superficie de 5 000 km². Les méthodes de suppression des incendies et de lutte contre ce fléau ont permis d'accroître progressivement la révolution moyenne, qui est passée de 78 ans (avant 1919) à 113 ans pour la période de 1920-1937 et à 870 ans pour la période de 1940-1979. Le sapin baumier et les feuillus d'ombre succèdent aux espèces de la forêt boréale dépendantes des incendies, comme le pin gris, l'épinette noire, le peuplier faux-tremble et le bouleau. Le sapin baumier, s'il est défolié par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, peut représenter une menace d'incendie impossible à conjurer.

TABLEAU 8.

Relation entre la vulnérabilité du paysage et les critères de qualité visuelle



Source: British Columbia Ministry of Forests, 1981.

Le rôle primordial du feu dans les forêts canadiennes ayant été reconnu, il est maintenant un outil d'aménagement forestier et les politiques de la protection contre les incendies ont été revues.

Exploitation des forêts de haute altitude

Près de la limite forestière, les saisons de végétation sont brèves et la production de semences par les conifères a tendance à être sporadique et faible. La croissance des arbres peut également y être ralentie par l'épaisse neige, les forts vents et les dommages causés par la glace. Bon nombre de régions boisées sont classées comme forêts non commerciales ou forêts de protection, mais la Colombie-Britannique et l'Alberta abritent, à des altitudes de 1 200 à 2 000 m, de vastes régions forestières qui, en raison de l'absence d'incendies, renferment d'importants cubages de bois sur pied très âgé. Elles se retrouvent dans la zone forestière de sapin subalpin et d'épinette d'Engelmann à l'intérieur et dans la zone forestière de pruche subalpine sur la côte (Krajina, 1969).

Les problèmes résultant de contrainte liés à la coupe rase de ces forêts de haute altitude sont leur faible taux de régénération ultérieure et leur laideur. Ces zones forestières fournissent actuellement 60 % du bois coupé sur la côte de la Colombie-Britannique et sont les principales réserves de bois de sciage de l'Intérieur. La déclivité du terrain, la grosseur des arbres et les frais élevés d'exploitation empêchent la coupe partielle des peuplements âgés de pruche subalpine, de cyprès jaune et de sapin gracieux. Bon nombre de ces peuplements sont inéquiennes et pourraient faire l'objet d'une légère coupe de jardinage. Il n'existe toutefois aucune technique pour ce genre d'exploitation forestière, bien qu'on tente de fabriquer une sorte de grue, munie d'un ballon à moteurs, qui permettrait de ramasser les arbres directement à flanc de montagne.

La reproduction des pruches subalpines dépend en grande partie de la régénération préexistante des sapins gracieux, souvent âgés de 50 à 100 ans au moment de leur récolte. Ces petits arbres âgés poussent bien après leur coupe, mais ils peuvent être touchés par le champignon, Indian paint fungus, qui produit la carie brune filandreuse du tronc (Herring et Ethridge, 1976). La régénération naturelle de la pruche et du cyprès jaune est souvent ralentie par l'absence de lits de germination ou de semences. Les arbres plantés à cette altitude n'ont pas donné de très bons résultats. Le brûlage des rémanents de ces sites n'est plus permis.

Les vastes forêts âgées d'épinette d'Engelmann et de sapin subalpin de l'Intérieur dépendent également en grande partie de la régénération préexistante du sapin subalpin pour leur reproduction. Les plantations d'épinette d'Engel-

Photo 16. CONSERVATION À L'ÉTAT NATUREL

Dans les zones de conservation à l'état naturel (critère de qualité visuelle), les activités comme l'entretien d'un nombre minimal d'installations (sites de loisirs, sentiers) qui mettent en valeur la contrée sauvage naturelle sont permises. Les autres types d'activités, comme l'exploitation forestière, ne sont pas autorisées.

Dans la forêt aménagée, il est possible de conserver à l'état naturel des zones relativement petites dont la valeur panoramique est grande ou dépasse celle des autres ressources naturelles; par exemple certaines zones riveraines, les zones d'un intérêt exceptionnel sur le plan visuel, historique, géologique, biologique et éducatif et les zones offrant des possibilités de loisirs.

Cette photo présente une interface terre/eau d'une valeur particulière. Lac Kerry, région de Prince-George.

P. van Heek - © 1981, ministère des Forêts de la Colombie-Britannique

Photo 17. ZONE TAMPON

Dans les zones tampons (critère de qualité visuelle), l'aménagement ou les modifications du milieu ne doivent pas être apparents. Le but est de reproduire les lignes, la forme, les couleurs et la texture du paysage caractéristique.

Dans la forêt aménagée, les zones d'un intérêt panoramique particulier où les modifications peuvent être discernées mais ne sont pas nettement distinguables, peuvent être des zones tampons; par exemple les interfaces terre/eau et toutes les zones offrant une vue panoramique.

Lac Kennedy, région de Vancouver. L'exploitation sur la crête n'est pas évidente aux visiteurs.

P. van Heek - © 1981, ministère des Forêts de la Colombie-Britannique

Photo 18. ZONE TAMPON PARTIELLE

Dans les zones tampons partielles (critère de qualité visuelle), les modifications ne doivent pas nuire aux caractéristiques visuelles du paysage. Il importe de reproduire la ligne, la forme, les couleurs et la texture de celui-ci afin de s'assurer que les modifications soient dissimulées dans les éléments dominants.

Dans la forêt aménagée, les zones tampons partielles peuvent être constituées des régions où les paysages sont d'un intérêt esthétique et où les activités n'altèrent généralement pas la nature du relief et n'entrainent pas de modifications évidentes; par exemple les paysages qui peuvent assimiler les changements. Sicamous, région de Kamloops.

P. van Heek - © 1981, ministère des Forêts de la Colombie-Britannique

Photo 19. ZONE DE MODIFICATION

Dans ces zones (critère de qualité visuelle), les modifications peuvent dominer le paysage caractéristique original. Toutefois, elles doivent ressembler aux lignes et formes naturelles du relief.

Dans la forêt aménagée, les régions caractérisées par de nombreuses zones panoramiques et où les modifications peuvent être assimilées par le paysage (lignes et formes dominantes) peuvent être des zones d'altération; il s'agit principalement des zones d'aménagement initiales. Vallée Nass, région de Prince-Rupert.

P. van Heek - © 1981, ministère des Forêts de la Colombie-Britannique

mann n'ont pas donné de très bons résultats et la régénération naturelle est très lente. La coupe partielle est une des solutions recommandées, mais elle est difficile à réaliser (Alexander, 1974).

Le taux et la taille de la coupe rase sont les problèmes de dégradation préoccupant l'aménagiste forestier. L'habitat du caribou des montagnes peut également être un facteur dans les forêts de l'Intérieur. Si la régénération de ces forêts ne peut s'effectuer en un temps raisonnable (20–30 ans), il faudra alors remettre en question la capacité de rendement soutenu des niveaux de récolte actuels.

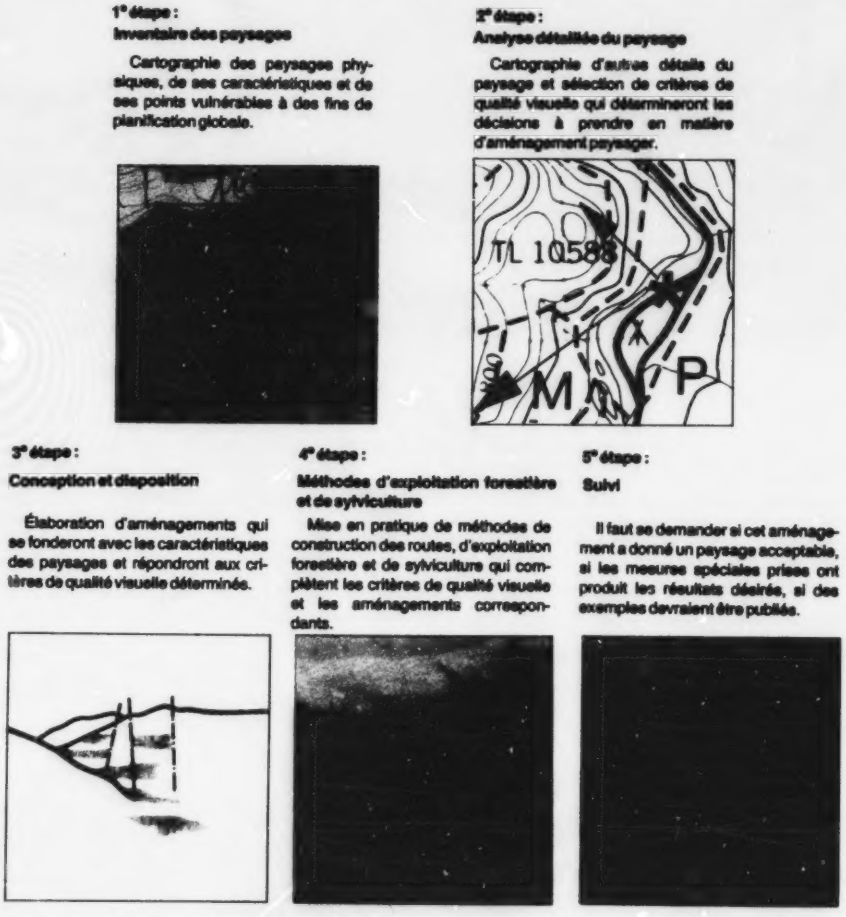
La «récupération de bois» – récolter le bois plutôt que de le laisser se dégrader naturellement – est une solution qui est possible et qui a été pratiquée dans les forêts boréales éloignées. Dans le cadre d'une telle politique, aucune coupe ne saurait être envisagée pendant deux ou trois siècles; l'exploitation forestière devient alors un outil de croissance économique forcé. Le rendement économique d'une telle politique a toutefois été médiocre (Mathias, 1971; Loomis, 1979).

La récupération de bois pose également un problème d'éthique en matière d'utilisation des terres forestières. Les questions soulevées par l'élimination de grands arbres âgés non renouvelables ont été amplement débattues. Dans les forêts nationales des États-Unis, on respecte une politique de production constante prévoyant l'abattage régulier des arbres de plus de 200 à 300 ans pour s'assurer que les générations futures soient en mesure de voir de telles forêts. Une telle politique n'existe pas encore au Canada.

Même si de vastes régions de forêts de haute altitude ne seront pas exploitées dans les parcs, les régions de protection environnementale et les réserves écologiques, les questions relatives à la nécessité, au rythme et à la nature de l'exploitation de ces zones vulnérables sont toujours débattues.

FIGURE 10.

Allégement de la dégradation visuelle du paysage par son aménagement paysager



Source: British Columbia Ministry of Forests, 1981.

Incidences sur la faune

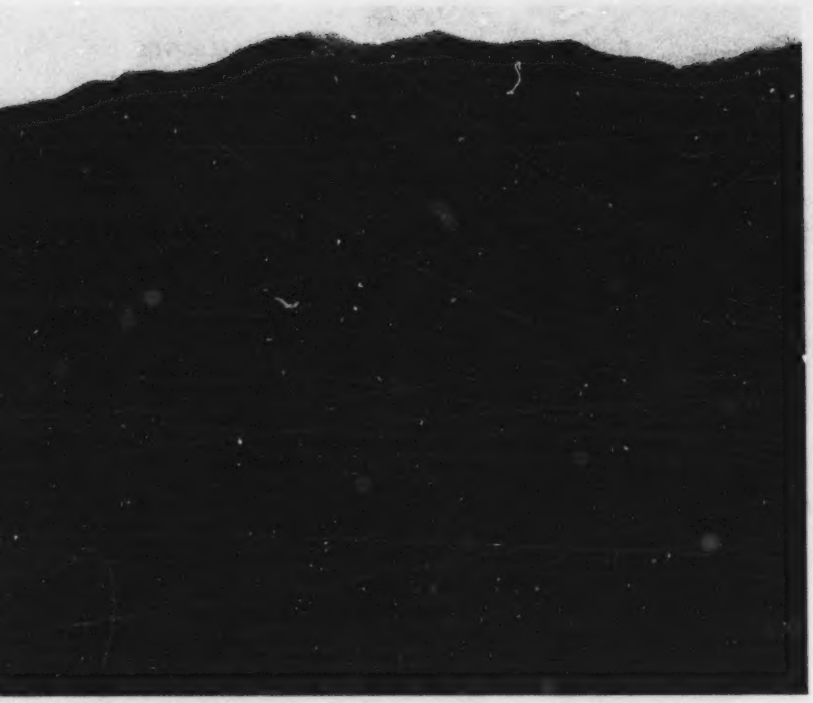
L'élimination des arbres d'âge mûr sur de très vastes superficies détruit et crée à la fois des habitats et de la nourriture pour la faune. La diversité des forêts et de la faune exclut toute analyse particulière de l'influence de chaque méthode d'aménagement forestier sur chaque espèce faunique. Les modifications des ressources nécessaires à la faune à la suite de l'élimination du couvert forestier sont les seules incidences évaluables. Ces ressources sont l'énergie, les éléments nutritifs, l'eau, les abris temporaires, l'habitation, le couvert de fuite et l'espace (Bunnell et Eastman, 1976). Les figures 11 à 14 illustrent les changements engendrés par l'exploitation forestière.

Chaque espèce doit pouvoir trouver les ressources dont elle a besoin dans son domaine vital ou son territoire. Toute activité de foresterie qui détruirait certaines de ces ressources perturbe cette espèce. Les territoires affectés peuvent être horizontaux et verticaux – c'est-à-dire s'étendre vers le haut dans les cimes – et leurs superficies sont très variables. L'évaluation des incidences ou des perturbations doit donc tenir compte de l'espèce, de son territoire et de ses habitudes et des ressources dont elle a besoin.

En théorie, il est possible d'évaluer chaque facteur de contrainte pour chaque type d'activité d'aménagement forestier: abattage, préparation du site, création de forêts, soins culturaux, protection des peuplements et questions générales d'aménagement comme la durée de la révolution, la coupe annuelle permise, configuration du paysage et la construction de routes. Le nombre d'interactions et d'évaluations des incidences deviendrait toutefois énorme à mesure que s'accroîtrait le nombre d'espèces étudiées. Les réactions particulières d'une espèce à des méthodes d'aménagement données varieront d'un type forestier à l'autre.

Il est devenu essentiel d'évaluer ces interactions et ces incidences par suite de l'adoption d'un mode d'aménagement à des fins multiples et la décision de conserver une diversité de populations fauniques et certaines populations particulières d'espèces données. On a prêté une attention toute spéciale aux populations de poissons, aux grands ongulés (orignal, cerf, élan, mouton, chèvre et caribou), aux prédateurs (loup, coyote, ours noir et ours grizzli) et aux animaux à fourrure importants (lynx, martre, castor et rat musqué). Il faut également considérer les populations d'oiseaux.

Les routes construites dans des régions autrefois inaccessibles, donnant ainsi accès aux chasseurs et aux braconniers, ont eu des effets graves sur des animaux comme les chèvres des montagnes



oto 20. ZONE DE MODIFICATION MAXIMALE

ns les zones de modification maximale (critère de qualité visuelle), les modifications du paysage original peuvent être rquées, particulièrement au premier plan et au centre. Elles peuvent être abusives ou mettre en évidence des caractéris-ues fort peu naturelles.

ns la forêt aménagée, les régions caractérisées par de nombreuses zones panoramiques et où les modifications dues à xploitation des ressources dominent le paysage peuvent être des zones de modification maximale; à une faible distance, modifications peuvent sembler abusives, mais à une plus grande distance, elles doivent sembler naturelles. Ces zones globent particulièrement les régions exposées aux désastres naturels, comme les incendies, les infestations par les ectes et les chablis. Région de Vancouver.

an Heek - © 1981, ministère des Forêts de la Colombie-Britannique

oto 21. Exploitation réglementée (coupe par parcelles) d'une forêt de pin tordu latifolié et d'épinette d'Engelmann de me âge. Okanagane (Colombie-Britannique).

Wiseman

et les grizzlis qui ne peuvent subir de façon soutenue des taux de chasse de plus de 5 %.

La protection de l'habitat du poisson est l'une des questions les plus litigieuses. Les figures 15 et 16 présentent les incidences de l'exploitation forestière sur les milieux d'eau douce et sur les milieux estuariens et littoraux. Contrairement aux écosystèmes terrestres, les écosystèmes aquatiques réagissent très rapidement aux changements. Les populations de poissons sont très sensibles à la température, à la pollution et à la turbidité, facteurs qui peuvent tous être radicalement modifiés par les méthodes d'exploitation forestière. La sole, la plie canadienne, la lotte, la morue, le bar rayé, la perche, le saumon et le hareng sont certaines des espèces les plus touchées. De plus, le triage, l'entreposage et le flottage du bois influent non seulement sur le poisson mais également sur les crevettes, les homards, les crabes, les huîtres, les clams, les étoiles de mer, les oursins, les holothuries, le fucus, le zostère marin, le varech, les anémones, les algues et les plantes vasculaires. Le flottage du bois a donné lieu à de graves conflits, y compris les protestations de la part des plaisanciers. Les écosystèmes estuariens et marins ont été modifiés, au cours de la manutention et du transport des grumes, par l'échouage, l'affouillement, le tassement du fond, la friction, le dépôt d'écorces et de branches et l'immersion de grumes, la formation d'hydrogène sulfuré, la réduction de l'oxygène dissous et les remous et la friction engendrés par les hélices des remorqueurs.

On a pu résoudre nombre de conflits et de contraintes par une planification très soignée de l'exploitation forestière, par de nombreuses consultations entre les groupes d'utilisateurs et les paliers de gouvernement et par des changements des méthodes de triage et d'entreposage des grumes sur la terre ferme.

Réserves écologiques

C'est seulement dans les années 1960 qu'on a reconnu l'importance, généralement inestimable, de préserver des échantillons représentatifs d'écosystèmes ainsi que d'écosystèmes uniques et menacés des forêts canadiennes. De 1965 à 1973, on a pu choisir et décrire les sites éventuels de réserves écologiques dans tous les habitats du Canada grâce à des fonds du Programme biologique international (PBI). Les politiques et recommandations relatives aux régions naturelles boisées étaient formulées et destinées à servir de repères pour évaluer les changements du paysage, tout en permettant de protéger les espèces précieuses (Weetman et Cayford, 1972; Moir, 1972).

Les provinces ont réagi de façons différentes à la nécessité de créer des réserves écologiques : 8 provinces sur 10 ont adopté des lois spéciales créant des réserves (Peterson, 1982). La Colom-

bie-Britannique s'est mise à l'oeuvre sous la direction de M. Krajina – la province compte maintenant plus de 100 réserves (Krajina, 1976). Les forêts administrées par le gouvernement fédéral se limitent aux terres qu'il possède ou qui relèvent de sa juridiction, comme les parcs nationaux, les bases militaires, les stations forestières expérimentales, les réserves indiennes et les terres au nord du 60°, sauf au Nouveau-Québec et au Labrador. Parcs Canada a réservé des terres dans les parcs nationaux comme suit : zone I – aires spéciales de préservation, zone II – aires de nature sauvage, zone III – aires incultes de récréation, zone IV – aires de loisirs de plein air et zone V – aires de service de parc. Des régions de certains parcs provinciaux ont été désignées réserves écologiques (Maini et Carlisle, 1973). Plus récemment, deux endroits au Canada ont été désignés comme réserves de la biosphère dans le cadre du Programme international sur l'homme et la biosphère (PHB): le mont Saint-Hilaire, au Québec, et le parc national des lacs Waterton, en Alberta (Francis, 1982). Les préoccupations d'ordre économique l'emportant aujourd'hui sur les préoccupations environnementales, le rythme de création de nouvelles réserves écologiques avance à pas de tortue, même si la plupart des programmes fonctionnent toujours au niveau provincial.

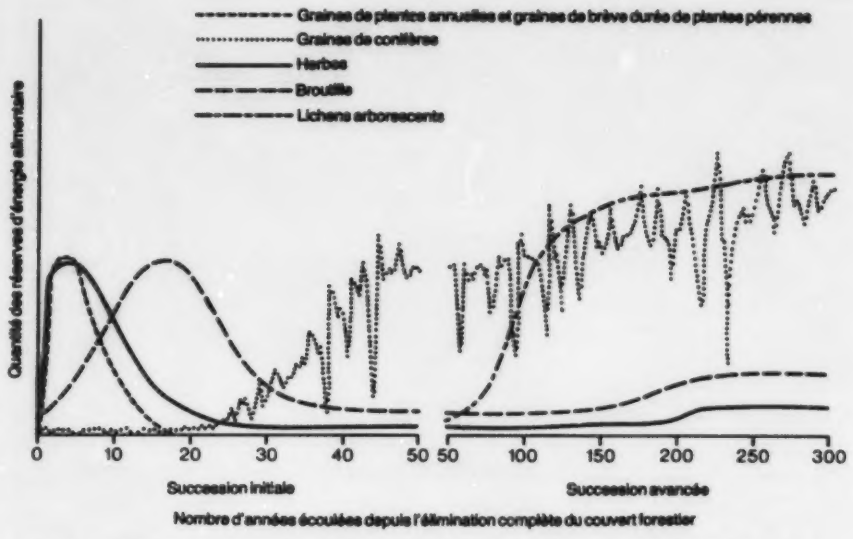
Le Canada compte une énorme superficie de terres boisées et jouit d'une grande diversité de forêts et de climats. On a ainsi dénombré, en Ontario, 150 types d'espèces végétales qui devraient virtuellement être représentés dans chaque région dans un réseau de réserves naturelles. On s'est jusqu'ici efforcé de préserver des écosystèmes spéciaux plutôt que des écosystèmes ordinaires.

Les réserves écologiques peuvent constituer le fondement environnemental nécessaire à l'évaluation de l'ampleur et de la nature des contraintes négatives sur les terres boisées. Le raisonnement est le suivant :

- il faut comprendre le fonctionnement d'un écosystème et ses réactions aux changements pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion de l'environnement;
- pour obtenir de telles données, il faut acquérir, sur les écosystèmes non perturbés, des connaissances qui serviront de paramètres pour mesurer les changements dus à l'homme;
- les régions naturelles relativement peu perturbées constituent un outil fondamental de recherche pour établir ces paramètres;
- il faut donc préserver un système naturel global pour inventorier tous les genres d'aires naturelles et leurs utilisations;
- si le réseau de stations de surveillance de l'environnement est lié à des aires naturel-

FIGURE 11.

Effets de l'élimination des arbres sur les réserves d'énergie alimentaire de la faune

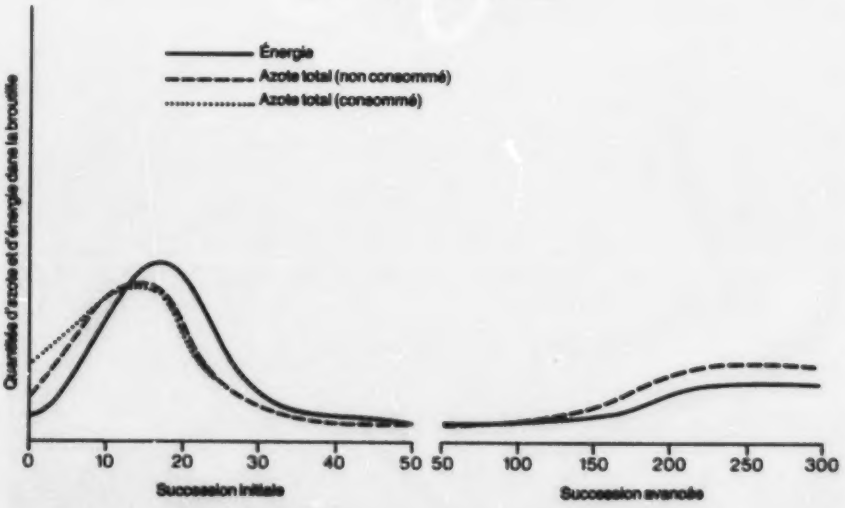


Ce diagramme montre la relation existant entre la quantité de réserves d'énergie alimentaire sous différentes formes utilisées par la faune et le temps écoulé depuis l'élimination de l'étage dominant de la forêt

Source : Bunnell et Eastman, 1976.

FIGURE 12.

Effets de l'élimination des arbres sur les quantités d'azote et d'énergie de la broutille

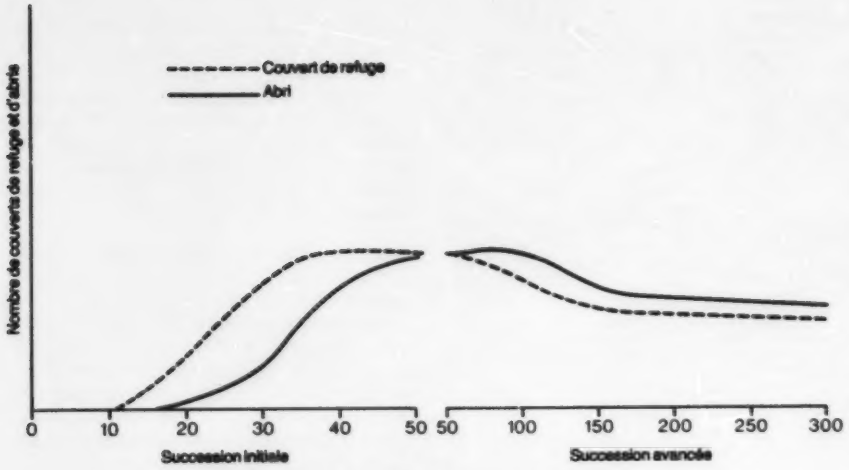


Ce diagramme montre la relation existant entre les quantités d'azote et d'énergie contenues dans la broutille et le temps écoulé depuis l'élimination de l'étage dominant de la forêt.

Source : Bunnell et Eastman, 1976.

FIGURE 13.

Effets de l'élimination des arbres sur la quantité de couverts de refuge et d'abris à la disposition de la faune

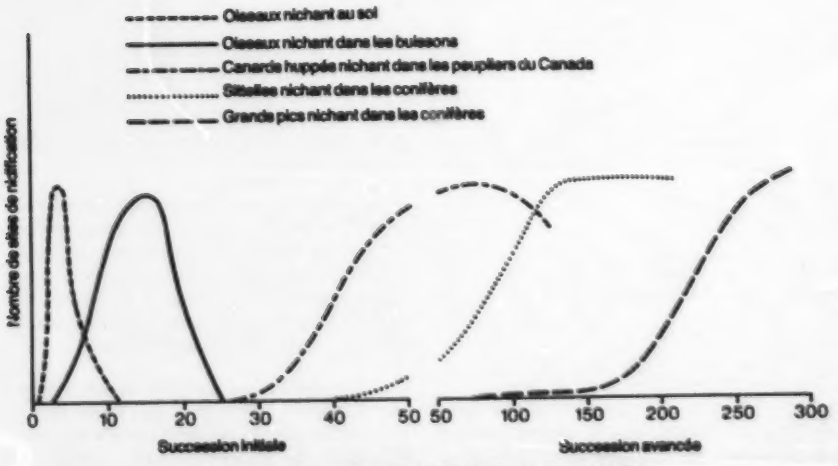


Ce diagramme montre la relation existant entre l'âge du peuplement et sa capacité d'offrir un abri ou un couvert de refuge aux ongulés.

Source : Bunnell et Eastman, 1976.

FIGURE 14.

Effets de l'élimination des arbres sur le nombre d'aires de nidification pour certaines espèces d'oiseaux



Ce diagramme montre la relation existant entre les sites de nidification de certaines espèces d'oiseaux et le temps écoulé depuis l'élimination de l'étage dominant de la forêt.

Source : Bunnell et Eastman, 1976.

les représentatives, les mesures doivent répondre aux critères établis.

Nous sommes loin d'un réseau national complet; nous ne l'atteindrons peut-être jamais, mais c'est un objectif souhaitable.

RÉGLEMENTATION ET CONTRÔLE DES MÉTHODES D'EXPLOITATION FORESTIÈRE

Le contrôle des méthodes d'exploitation forestière au Canada relève presque uniquement des gouvernements provinciaux. Les provinces possèdent 90 % des terres forestières commerciales. Quelques anciennes concessions de chemins de fer sont à l'origine des vastes forêts privées. Il n'existe aucune législation fédérale régissant les méthodes d'exploitation forestière sur les terres privées, et les règlements provinciaux sont très peu appliqués. Les terres boisées plus petites (1 000 ha ou moins) ne sont pas réglementées, et il n'existe pas non plus beaucoup de mesures fiscales encourageant les méthodes écologiquement saines, certaines des activités d'exploitation forestière les plus destructives se pratiquant dans les forêts les plus faciles d'accès et les plus visibles, à proximité des villes canadiennes.

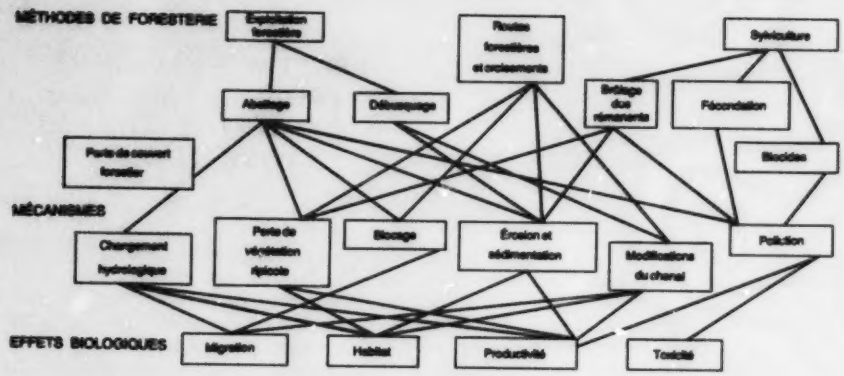
Il existe une réglementation fédérale sur les poissons et les oiseaux migrateurs. En vertu de l'Acte de l'Amérique du Nord britannique, la gestion et la protection de tous les poissons et habitats aquatiques connexes relèvent du gouvernement fédéral, qui a, dans les faits, transféré la gestion du poisson gibier d'eau douce aux provinces. Le gouvernement fédéral a effectué des relevés terrestres biophysiques sur certaines terres provinciales (Jurdant *et al.*, 1972), mais ces travaux se restreignent principalement aux terres fédérales au nord du 60e ou aux parcs nationaux.

Depuis 1974, le gouvernement fédéral a injecté beaucoup de fonds pour favoriser l'aménagement forestier. Ces fonds sont actuellement administrés par Environnement Canada. Les dépenses relatives à l'aménagement forestier et à la création d'emplois connexes en 1982-1983 atteignaient à peu près 110 millions de dollars. Une nouvelle entente quinquennale de foresterie a été signée par la Nouvelle-Écosse et le gouvernement fédéral en août 1982, et des négociations avec les autres provinces sont en cours à cette fin.

Au niveau provincial, l'utilisation des terres forestières est régie par diverses lois et administrée par différents ministères. Dans certaines provinces, un ministère unique des Richesses naturelles, ou son équivalent, s'occupe de la réglementation; dans d'autres, l'exploitation forestière est distincte de la faune, des loisirs et de l'environnement. Il est difficile de poursuivre

FIGURE 15.

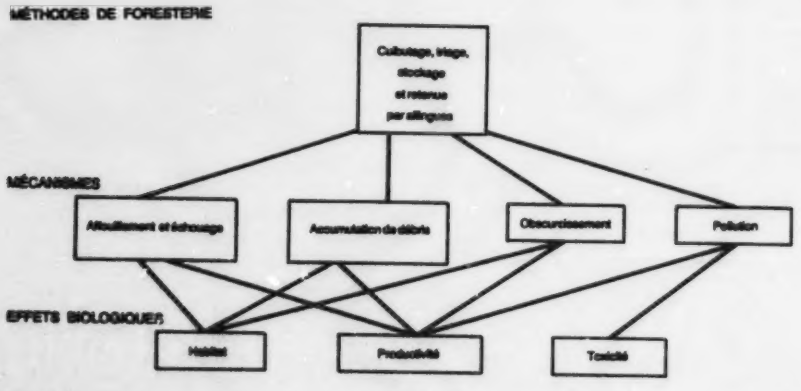
Incidences de l'exploitation forestière sur l'environnement d'eau douce



Source : Toews et Brownlee, 1981.

FIGURE 16.

Incidences de la foresterie sur les environnements estuariens et littoraux



Source : Toews et Brownlee, 1981.

en justice les ministères gouvernementaux au Canada, contrairement aux États-Unis. Le processus politique ou les media sont en grande partie les principaux outils pour obtenir réparation pour des torts subis par l'aménagement des ressources forestières ou pour protester contre celui-ci.

Une grande partie des terres forestières commerciales provinciales sont exploitées par les grandes sociétés forestières en vertu de permis à long terme. Bien qu'on ait tenté, de 1950 à 1970, de faire administrer et appliquer par le gouvernement toutes les méthodes d'aménagement forestier, dont l'exploitation forestière et la sylviculture, on tend maintenant à attribuer ces tâches aux sociétés détentrices de permis. De 1950 à 1970, certaines provinces se sont efforcées de prendre en charge l'administration et la gestion des forêts, y compris l'exploitation forestière et la sylviculture. Ces tâches ont maintenant tendance à être attribuées aux sociétés détentrices de permis. Deux raisons expliquent ce phénomène. Premièrement, aucun service forestier provincial ne peut trouver assez d'employés et d'argent pour aménager adéquatement les vastes superficies dont il a la responsabilité. Deuxièmement, la Fonction publique est soumise à certaines contraintes qui rendent difficile la gestion efficace de nombreuses méthodes d'exploitation forestière.

Il faut donc que le détenteur de permis (une grande société d'exploitation forestière) et le gouvernement provincial (ministère[s] responsable[s] de l'aménagement des ressources forestières) travaillent en collaboration à la planification et à la réglementation des activités de récolte et de sylviculture sur les principales terres publiques du Canada. Les plans d'exploitation et d'aménagement des forêts sont approuvés pour une période de cinq ans ou d'un an. Il faut détenir un permis annuel d'exploitation pour chacun d'eux.

Les provinces ont recours à divers mécanismes de contrôle environnemental des activités forestières. Les principaux mécanismes sont les suivants (les références donnent des exemples):

1. Approche cartographique: On se sert d'un système de cartes-transparents pour identifier les paysages importants, le couvert forestier et les conditions culturelles et historiques. Aucun permis d'exploitation n'est délivré jusqu'à ce que tous les conflits possibles aient été résolus. Ce mécanisme est coûteux; il est principalement utilisé pour les régions d'intérêt particulier (Bullen, 1978).

2. Renvois: Tous les permis d'exploitation sont renvoyés aux ministères gouvernementaux concernés avant d'être approuvés. C'est la procédure courante pour toute activité d'un genre nouveau ou inhabituel.

3. Lignes directrices: À la suite de consultations avec l'industrie et le public, des lignes directrices sur les activités de foresterie, relevant du ministre, sont publiées. Les associations forestières industrielles, le public et les fonctionnaires gouvernementaux surveillent le respect de ces lignes directrices (Young, 1977).

4. Recommandations de classification écologique: Bon nombre de provinces disposent de systèmes et de groupes de spécialistes pour classifier les sites forestiers. Les guides de classification à l'échelle d'une région ou d'un district présentent des recommandations particulières aux sites et sont d'application très stricte (Kabzems *et al.* 1976).

Guides de sylviculture à l'intention de grou- spécialisés: Certaines provinces ont publié guides techniques qui recommandent ou isent le type de coupe approprié ou autres tements sylvicoles pour chaque genre de t. Ces guides sont rédigés en collaboration des spécialistes en recherche forestière ice et Heeney, 1974).

Comité conjoint, formé de représentants de lustrie, du gouvernement et du public: Pour er toute confrontation sur des questions par- lières, ces comités tentent de résoudre les blèmes en cause. Ils se rendent habituelle- nt sur le terrain pour visiter les régions aux es avec le problème.

Plans d'utilisation des terres forestières et liences publiques: Des analyses techniques et la documentation permettent de préparer des uments officiels précisant les incidences ironnementales et les différents scénarios tilisation des terres; ces documents font uite l'objet d'audiences publiques et d'un e. Cette procédure est obligatoire dans les êts nationales des États-Unis et est effectuée des experts en sylviculture accrédités (Uni- States Forest Service, 1979*d*). En raison de coût élevé, cette approche n'a pas été utili- au Canada, sauf dans les régions où exis- nt vraiment des conflits ou lorsque des bas- hydrographiques vierges faisaient l'objet n projet d'exploitation forestière.

Groupes de travail interorganismes spéciali- Des questions «brûlantes» entraînent la ation de tels groupes qui aident à résoudre conflits et à déterminer les meilleures thodes d'aménagement (Poulin, 1981).

Études par des consultants: Lorsque des con- s d'utilisation des forêts régionales devien- nt des questions publiques, le ministre peut mander une étude majeure par des consul- nts de l'ensemble du problème sous la direc- n d'un comité consultatif interorganismes .D. Schultz & Co. Ltd., 1973).

Contestations devant les tribunaux du ouvellement d'un permis: On a tenté de telles ions en se basant sur le fait que le rendement l'aménagement des forêts, tel que le stipule permis, était inadéquat. Une récente tentative blocage du renouvellement du permis xploitation de propriété forestière de produc- n dans les Îles de la Reine-Charlotte a noué.

Commissions royales d'enquête: Il y en a eu aucoup au Canada; elles étaient habituelle- nt créées lorsque des changements de politi- e s'avéraient nécessaires. Bien que leurs commandations n'aient pas toujours été mises application, elles ont souvent entraîné des angements majeurs en matière de politique et dministration des forêts.

ÉTAT SOMMAIRE DE LA SITUATION

Les contraintes exercées sur les terres forestières liées à la foresterie se situent à deux niveaux: la forêt elle-même et le peuplement.

Au niveau de la forêt, les incidences négatives sont des changements qui ne respectent pas les objectifs d'aménagement des terres forestières. Par conséquent, les effets perçus d'une même méthode diffèrent selon les objectifs. La majeure partie des désaccords et des mésententes se rapportent aux objectifs d'utilisation des terres qui sont établis par la société et peuvent entraîner le zonage de terres pour une utilisation unique ou des utilisations multiples.

Le paramètre permettant de mesurer les contraintes à ce niveau est l'évolution de l'état de la forêt, compte tenu de son dynamisme et de sa dégradation par de nombreux facteurs, dont les incendies et les insectes.

Il n'est pas facile de réfuter les arguments d'ordre éthique, philosophique et écologique relatifs à la taille et au nombre de régions canadiennes qu'il faut protéger contre l'exploitation forestière pour permettre aux perturbations naturelles de suivre leur cours; le débat se poursuit. La forêt a une immense valeur économique. On a tendance, sauf dans le Grand Nord, à lutter contre les perturbations causées par les incendies, les insectes et les maladies qui entraînent des modifications des forêts. Dans certains cas, une trop grande protection peut être considérée comme une forme de contrainte, car elle peut entraîner des feux de friches catastrophiques, des épidémies ou des infestations, ou encore la substitution de types de couverts forestiers rentables par d'autres moins rentables.

Les activités d'exploitation forestière peuvent être considérées comme neutres ou non contraignantes dans la mesure où elles reproduisent des perturbations qui se sont déjà produites autrefois. On a la preuve que l'exploitation forestière et l'utilisation soigneusement prévue du feu peuvent accomplir ce rôle, contrebalançant la dégradation engendrée par la protection et assurant des avantages économiques et écologiques liés à la régulation des perturbations et à l'équilibre des mosaïques des forêts d'âges et d'espèces divers. Il semble qu'on a pu apporter peu de preuves scientifiques à l'idée que les forêts créées ou modifiées par l'homme sont essentiellement moins stables ou souhaitables sur le plan écologique que les forêts naturelles.

La régénération des forêts peut être, et elle l'est souvent, menacée si les méthodes non réglementées d'exploitation forestière, notamment celles suivies d'un incendie, ne reproduisent pas les dégradations antérieures. Cette forme de perturbation, qui réduit les rendements des forêts, s'est produite à une grande échelle et se poursuit encore. La qualité, la quantité et la disponibilité à long terme des réserves de bois marchand du pays sont menacées, et les conséquences économiques et sociales ont été graves et le sont encore. Cette forme de perturbation au niveau de la forêt est la conséquence la plus grave des méthodes d'exploitation forestière non réglementées. On dispose de nombreuses solutions biologiques pour la régénération des forêts. L'amélioration de l'aménagement forestier est surtout freinée par la pénurie de main-d'oeuvre et de fonds permettant une meilleure foresterie. Cette pénurie peut être aggravée par les ententes de tenure et les désaccords entre les gouvernements et l'industrie, mais ce ne sont pas là les seules causes de ces problèmes. C'est au gouvernement, à l'industrie et à la main-d'oeuvre de se concerter et de collaborer pour améliorer le bilan de la régénération des forêts à l'échelle nationale.

Au niveau du peuplement, les contraintes négatives liées aux activités de foresterie sont causées principalement par les incidences de la construction des routes et l'exposition des sols minéraux entraînés par l'exploitation forestière. Elles consistent principalement en des pertes de fertilité du sol, des problèmes d'habitat du poisson et des menaces aux bassins hydrographiques et à leurs valeurs panoramiques et fauniques. La période et la taille de la coupe ont des incidences sur l'habitat et les populations fauniques qui sont particulières aux espèces. Cette dégradation à l'échelle d'un peuplement est plus facile à cerner, mais elle est souvent de moindre importance globale que les dégradations au niveau des forêts.

Les interactions entre les composantes d'un écosystème forestier sont complexes, mais plus facilement quantifiables au niveau d'un peuplement que d'une forêt. Des méthodes de coupe et d'exploitation forestière soigneusement déterminées, des critères de la construction des routes et l'utilisation de méthodes sylvicoles permettent d'éviter en grande partie ces problèmes. La manifestation de ces incidences négatives a beaucoup soulevé l'intérêt du public et des organismes de réglementation. La fréquence de ces incidences diminue, mais elle est toujours élevée dans les forêts éloignées et dans les petites forêts privées en exploitation. Ces dernières ne constituent pas une grande superficie au Canada, mais elles sont proches des bassins de population et peu réglementées.

Les forêts du Canada sont des systèmes dynamiques qui, un peu partout, sont soumis à des perturbations radicales, même sans l'intervention de l'homme. L'identification et la compréhension de la nature et de l'orientation de ces changements permettent à l'homme d'intervenir pour s'assurer d'un approvisionnement continu en biens, services et autres avantages forestiers intangibles. Ceux-ci peuvent être en harmonie

avec les objectifs d'utilisation des terres qui tendent à un contexte non perturbé. Nous connaissons assez bien nos forêts sur le plan scientifique général, mais il faudra acquérir beaucoup plus de connaissances particulières aux sites et on a à peine commencé à tirer parti des possibilités offertes par l'amélioration génétique. Nous devons également accroître nos connaissances sur la lutte contre les ravageurs. Malgré tout, les principaux obstacles à une meilleure utilisation de la foresterie sont d'ordre institutionnel, empêchant la mise en application efficace de notre acquis.

Jusqu'à récemment, le Canada disposait d'un surplus de bois et n'était donc pas enclin à mettre en pratique de meilleures méthodes d'aménagement forestier. Il était moins coûteux d'aller plus loin dans les forêts ou de modifier les normes d'utilisation que d'investir dans le plantage d'arbres. Il aurait été très désavantageux, sur le plan de la concurrence, de s'efforcer de mettre en pratique de bonnes méthodes de sylviculture. Toutefois, à l'heure actuelle, les gouvernements et l'industrie se préoccupent de l'état de nos forêts. Ils tentent honnêtement d'améliorer les méthodes d'exploitation forestière, et, même si leur niveau est loin d'être ce qu'il devrait, les dépenses concrètes en sylviculture ont plus que doublé depuis quelques années. Ces mesures et d'autres améliorations en matière d'aménagement forestier devraient aider à alléger, dans une certaine mesure, les contraintes que subissent les terres forestières du Canada.

Ce texte a été revu en anglais par Dr. I.C.M. Place, un consultant privé qui faisait autrefois partie de la Direction générale de l'analyse des politiques et de l'économie, Service canadien des forêts, Environnement Canada, Ottawa (Ontario).

REMERCIEMENTS

L'auteur aimerait remercier Dr. P.J. Rennie, d'Ottawa, Dr. R. Smith, de Victoria, Dr. G. Frisque, de Québec, et B. Case, de St. John's, faisant tous partie du Service canadien des forêts, qui l'ont aidé à localiser la documentation, les chiffres et l'information. P. van Heek, du Service des forêts de la Colombie-Britannique, a fourni des diapositives de sa propre collection. Ses collègues de la Faculté de foresterie de l'Université de la Colombie-Britannique ont également fourni de la documentation.

GLOSSAIRE

[1] **Biomasse:** la masse totale, à un moment donné, des organismes vivants par unité de surface, qu'ils appartiennent à une ou à quelques espèces (biomasse spécifique), ou qu'il s'agisse de toutes les espèces du groupement (biomasse collective).

[2] **Valeur des bois sur pied:** valeur pécuniaire du peuplement forestier sur pied.

[3] **Écrémage:** coupe des arbres de premier choix (taille et qualité)

[4] **Coupe «annuelle» permise:** estimation de la quantité de bois pouvant être coupée sans nuire aux objectifs de gestion et aux normes d'utilisation.

[5] **Podzols:** sols caractérisés par une couche de surface composée de litière et d'humus et d'une couche sous-jacente de sol minéral de couleur gris cendre (A_2) dont les substances nutritives ont été lessivées. Cette dernière couche recouvre un horizon B riche en fer et en composés organiques.

[6] **Cônes sérotineux:** cônes qui restent sur l'arbre pour une période supérieure ou égale à un an.

[7] **Coupe de jardinage:** coupe annuelle ou périodique d'arbres (particulièrement ceux ayant atteint la maturité) choisis individuellement ou par petits groupes.

[8] **Mode de régénération par coupes progressives:** mode d'exploitation sylvicole qui consiste à enlever le peuplement principal en deux ou plusieurs coupes progressives en vue d'assurer une source de graines ainsi que la protection de nouveaux semis.

[9] **Régénération préexistante:** jeunes arbres qui se sont établis naturellement sous le couvert ou à l'abri de l'ombre du peuplement principal ou de l'étage dominant.

[10] **Taillis:** peuplement forestier constitué de drageons qui poussent sur les troncs ou les souches des arbres coupés.

[11] **Feuillus d'ombre:** arbres à larges feuilles pouvant croître à l'ombre; dans le parc Algonquin, les forêts de ce genre sont dominées par des espèces comme l'érable à sucre, le hêtre, le tilleul d'Amérique, le bouleau jaune et la pruche.

BIBLIOGRAPHIE

Adams, P.W., et Froehlich, H.A. 1981. Compaction of Forest Soils. Oregon State University. Extension Service Report, PNW 217. Corvallis, Oregon.

Alexander, R. 1974. Silviculture of Subalpine Forests in the Central and Southern Rocky Mountains. United States Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Rapport RM 121. Fort Collins, Colorado.

Alexander, M.E., et Hawksworth, F.G. 1976. «Fire and Dwarf Mistletoes in North American Forests». Journal of Forestry. Society of American Foresters. vol. 73, nº 5, pp. 446–449. Washington, D.C.

Anderson, H.W.; Hoover, M.D.; et Reinhart, K.G. 1976. Forests and Water: Effects of Forest Management on Floods, Sedimentation and Water Supply. U.S.D.A. Forest Service. General Technical Report PSW-18. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. Berkeley, Californie.

Armson, K.A. 1976. Forest Management in Ontario. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Toronto, Ontario.

_____. 1981. Space, Time and Perspectives in Forestry. University of Alberta, Forest Industry Lecture Series No. 8. Edmonton, Alberta.

Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers. 1980. Les impératifs de la forêt: compte rendu du congrès canadien de la forêt à Toronto 1980. Montréal, Québec.

_____. 1981. Logging Operations Group Report. non publié. Montréal, Québec.

Association forestière canadienne. 1977. Compte rendu, Conférence nationale sur la régénération forestière à Québec. octobre 1977. Ottawa, Ontario.

Banque Royale du Canada. 1979. La Forêt et les arbres. Bulletin mensuel. vol. 60, nº 7. Toronto, Ontario.

Barney, G.O. 1981. The Global 2000 Report to the President: Volumes I and II. Blue Angel Inc. Charlottesville, Virginia.

Baskerville, G.L. 1976. Report of the Task Force for Evaluation of Budworm Control Alternatives. Préparé pour le Comité sur le développement économique du Cabinet du Nouveau-Brunswick. Frédéricton, Nouveau-Brunswick.

_____. 1978. «New Brunswick's Budworm Future: Long-term Policy Protection Needed for a Long-term Problem». Pulp and Paper Canada. vol. 79, nº 3, pp. 59–63. Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers. Montréal, Québec.

Beaubien, J. 1976. «Le traitement numérique des données du satellite Landsat pour inventorier nos forêts.» Forêt-Conservation. vol. 52, nº 7, pp. 15–22. Association forestière québécoise. Québec, Québec.

Bergerud, A.T. 1978. «Caribou.» Big game of North America, ecology and management. pp. 83–101. Stackpole, Harrisburg, Pennsylvania.

Botkin, D.B. 1980. «A Grandfather Clock Down the Staircase: Stability and Disturbance in Natural Ecosystems». Forests: Fresh Perspectives from Ecosystem Analysis. (Waring, Richard H. éd.) Proceedings 40th Annual Biology Colloquium. pp. 1–10. Oregon State University Press. Corvallis, Oregon.

Bruce, D.S., et Heeney, G.J. 1974. A Silvicultural Guide to the Hard Maple, Yellowbirch and Hemlock Working Group in Ontario. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Toronto, Ontario.

Bullen, J.G. 1978. «All Resources Considered in Logging Plans». Forestalk. vol. 2, nº 2, pp. 1–4. British Columbia Ministry of Forests. Victoria, Colombie-Britannique.

Bunnell, F.L. 1980. Fire and Furbearers. non publié. Rapport préparé pour le ministère des Affaires indiennes et du Nord. Ottawa, Ontario.

Bunnell, F.L., et Eastman, Dan S. 1976. «Effects of Forest Management Practices on Wildlife on the Forests of British Columbia». Proceedings XVI International Union Forest Research Organizations, World Congress. Divison I, pp. 631–689. Norway.

Carr, W.W. 1980. A Handbook for Forest Roadside Erosion Control in British Columbia. British Columbia Ministry of Forests. Land Management Report No. 4. Victoria, Colombie-Britannique.

Case, A.B., et Donelly, J.G. 1979. Type and Extent of Ground Disturbance Following Skidder Logging in Newfoundland and Labrador. Centre de recherches forestières de Terre-Neuve. Rapport N-X-176. Service canadien des forêts, Environnement Canada. St. John's, Terre-Neuve.

Case, A.B., et Rowe, D.A. 1978. Environmental Guidelines for Resource Road Construction. Centre de recherches forestières de Terre-Neuve. Rapport N-X-162. Service canadien des forêts, Environnement Canada. St. John's, Terre-Neuve.

C.D. Schultz & Co. Ltd. 1973. The Environmental Effects of Timber Harvesting in the Edson and Grande Prairie Forests of Alberta. Préparé pour le ministère des Terres et Forêts de l'Alberta. Edmonton, Alberta.

COGEF. 1975. Les traitements et les stratégies sylvicoles applicables à divers peuplements forestiers du Québec. Rapport du conseiller en gestion des forêts. Québec, Québec.

Colinvaux, P. 1978. Why Big Fierce Animals are Rare: An Ecologists Perspective. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.

Colombie-Britannique Ministry of Forests. 1981. Forest Landscape Handbook. Direction des services d'information. Victoria, Colombie-Britannique.

Crown Zellerbach Canada Ltd. 1980. An Analysis of Forest Management Options for the Okanagan Timber Supply Area, Kamloops Forest Region. Rapport pour Colombie-Britannique Ministry of Forests. non publié. Kamloops, Colombie-Britannique.

Cumming, H.G. 1972. The Moose in Ontario. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Direction de la faune. Toronto, Ontario.

Damman, A.W.H. 1964. Some Forest Types of Central Newfoundland and Their Relation to Environmental Factors. Forest Science Monograph No. 8. Society of American Foresters. Washington, D.C.

Day, R.J. 1979. «The Effect of Fire Suppression in Forest Ecology». non publié. School of Forestry, Lakehead University. Thunder Bay, Ontario.

nvironnement Canada. 1981. Stratégie forestière du Canada: Document de travail. 30 sept., 1981. non publié. Environnement Canada. Ottawa.

nvironment Council of Alberta. 1979. The Environmental Effects of Forestry Operations in Alberta. Rapport et recommandations. Edmonton, Alberta.

nnis, *et al.* 1973. Impacts of Timber Production Practices on Forest Resource Values in British Columbia. Internal Report BC-47. Centre de recherches forestières du Pacifique. Service canadien des forêts. Environnement Canada. Victoria, Colombie-Britannique.

L.C. Reed & Associates Ltd. 1978. L'aménagement forestier au Canada. Resumé. Rapport FMR-X-104F. Service canadien des forêts, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

_____. 1980. «Statistics on Canadian Forestry». Les impératifs de la forêt: Congrès canadien de la forêt. Toronto. 1980. pp. 113–181. Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers. Montréal, Québec.

ancis, G. 1982. Nomination of Canadian Biosphere Reserves. Canada/Man and Biosphere Report No. 15. Ottawa, Ontario.

eedman, B. 1981. Intensive Forest Harvest: A Review of Nutrient Budget Considerations. Centre de recherches forestières des Maritimes Rapport M-X-121. Service canadien des forêts, Environnement Canada. Frédéricton, Nouveau-Brunswick.

olding, D. 1981. «Forest Hydrology». Forestry Handbook. University of British Columbia, Faculty of Forestry. Vancouver, Colombie-Britannique. (Édition révisée sous presse).

oldsmith, F.B. 1980. «An Evaluation of a Forest Resource - A Case Study From Nova Scotia». Journal of Environmental Management. vol. 10, pp. 83–100. Academic Press Inc. New York, New York.

erring, L.J., et Etheridge, D.E. 1976. Advance Amabilis Fir Regeneration. British Columbia Forest Service/Service canadien des forêts, Environnement Canada. Joint Report nº 5. Victoria, Colombie-Britannique.

ills, G.A.; Love, D.V.; et Lacate, D.S. 1972. Developing a Better Environment: Ecological Land Use Planning in Ontario, A Study of Methodology in the Development of Regional Plans. Préparé pour le Conseil économique de l'Ontario. Toronto, Ontario.

orwitz, E.C.J. 1974. Clearcutting: A View from the Top. Acropolis Books. Washington, D.C.

lough, Stansbury and Associates Ltd. 1973. Design Guidelines for Forest Management. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Toronto, Ontario.

ludak, J., et Raske, A.G., éds. 1981. Review of the Spruce Budworm Outbreak in Newfoundland—Its Control and Forest Management Implications. Rapport N-X-205 du Service canadien des forêts. Environnement Canada. St. John's, Terre-Neuve.

lughes, J.D., et Thirgood, J.V. 1982. «Deforestation and Erosion and Forest Management in Greece and Rome». Journal of Forest History. Forest History Society Inc. Santa Cruz, Californie.

lughson, J.W., et Bond, C.C. 1965. Hurling Down the Pine. (2e édition). Société historique de la Gatineau. Old Chelsea, Québec.

urdant, M., *et al.* 1972. Carte écologique de la région de Saguenay–Lac-Saint-Jean. Service canadien des forêts, Environnement Canada. Centre de recherche forestière des Laurentides. Rapport d'information Q-F-X31. Québec, Québec.

Kabzems, A.; Kosowan, A.L.; et Harris, W.C. 1976. Mixedwood Section in Ecological Perspective. Saskatchewan Department of Tourism and Renewable Resources. Forest Branch. Technical Bulletin nº 8. Prince Albert, Saskatchewan.

Klinka, K. 1977. Guide for the Tree Species Selection and Prescribed Burning in the Vancouver Forest District. Colombie-Britannique Ministry of Forests. Research Division. Vancouver, Colombie-Britannique.

Krajina, V.J. 1969. «Ecology of Trees in British Columbia». Ecology of Western North America. vol. 2, nº 1, pp. 1–144. University of British Columbia. Vancouver, Colombie-Britannique.

_____. 1976. «Progress of Ecological Reserves in British Columbia». Natural Areas. pp. 15–21. Travaux de la 13e réunion annuelle, Association canadienne de botanique. Lennoxville, Québec.

Le Groupe Dryade. 1980. Évaluation des impacts potentiels de la récolte de la biomasse forestière. Centre de Recherches forestières des Laurentides Rapport LAU-X-45. Service canadien des forêts, Environnement Canada. Sainte Foy, Québec.

Lewis, Henry T. 1977. «Maskuta: The Ecology of Indian Fires in Northern Alberta». Western Canadian Journal of Anthropology. vol. 7, nº 1. Edmonton, Alberta.

Loomis, Carol. J. 1979. «How I.T.T. Got Lost in a Big Bad Forest». Fortune. 17 dec., 1979: 42–55. Time Inc. Chicago, Illinois.

Lorimer, C.G. 1977. «The Presettlement Forest and Natural Disturbance Cycle of Northeastern Maine». Ecology. vol. 58, nº 1, pp. 139–148. Ecological Society of America and Duke University Press. Durham, North Carolina.

Lortie, M. 1979. Arbres, forêts et perturbations naturelles au Québec. Les Presses de l'Université Laval. Québec, Québec.

Lussier, Louis-Jean. 1982. «Towards a Philosophy and Economics of Forest Management in Quebec». Symposium on Eastern Canada Small Private Land Forestry. pp. 88–105. Faculté de foresterie, Université Laval. Ste. Foy, Québec.

Lym, Jack L., *et al.* 1978. Effects of Fire on Fauna: A State of Knowledge Review. United States Forest Service. General Technical Report WO-6. Washington, D.C.

MacGregor, R. 1982. «Heritage Lost». Today/2. June 5, 1982, pp. 10–14. Today Magazine Inc., Toronto, Ontario.

Maini, J.S., et Carlisle, A.F. 1973. «La conservation des réserves écologiques au Canada». La conservation au Canada. Publication 1340F. Service canadien des forêts, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

McNicol, J.G. et Timmermann, H.R. 1981. «Effects of Forestry Practices on Ungulate Populations in the Boreal Mixedwood Forest». *Dans*: Whitney, R.D., et McClain, K.M., éds. Boreal Mixedwood Symposium. pp. 141–154. Travaux du Symposium O-P-9. Rapport du Service canadian des forêts, Centre de recherches forestières des Grands lacs. Environnement Canada. Sault St. Marie, Ontario.

Marceau, P.J. 1981. «Mechanical Weed Control in Eastern Canada». Proceedings: Weed Control in Forest Management. Holt, W.A., et Fischer, B.C., éds. Purdue University, West Lafayette, Indiana.

Mathias, Philip. 1971. Forced Growth: Five Studies of Government Involvement in the Development of Canada. James Lewis & Samuel. Toronto, Ontario.

Mellgren, P.G. 1980. «Evaluating the Effect of Tire Width on Logging Machine Performance». Forest Engineering Research Institute. Interim Report. non publié. Pointe Claire, Québec.

Moir, William H. 1972. «Natural Areas». Science, vol. 177, pp. 396–400. American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C.

Montgomery, K., et Walker, C.M. 1973. «The Clearcutting Controversy». Journal of Forestry. vol. 71, nº 1, pp. 10–15. Society of American Foresters. Washington, D.C.

National Academy of Sciences. 1980. Firewood Crops: Shrubs and Tree Species for Energy Production. Washington, D.C.

Newfoundland Royal Commission on Forest Protection and Management. 1981. «Regeneration and Reforestation: Committee Background Paper». non publié. St. John's, Terre-Neuve.

Norris, L.A. 1981. «The Behaviour of Herbicides in the Forest Environment and Risk Assessment». Proceedings: Weed Control in Forest Management. Holt, H.A., et Fischer, D.C., éds. pp. 192–215. Purdue University. West Lafayette, Indiana.

Ontario. Ministère des Richesses naturelles. 1973. Design Guidelines for Forest Management. Toronto, Ontario.

Page, G., Wilton, W.C., et Thomas, T. 1974. Forestry in Newfoundland. Centre de recherches forestières de Terre-Neuve. Service canadien des forêts. Environnement Canada. St. John's, Terre-Neuve.

Parcs Canada. 1978. Natural Resources Strategic Policy. Ottawa. non publié.

_____. 1979. Politique de Parcs Canada. Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement et du ministre d'Approvisionnements et Services Canada. Ottawa, Ontario.

Petersen, E.B. 1982. «An Overview of Ecological Reserves in Canada». Exposé de la réunion annuelle: Comté des réserves écologiques de la Colombie-Britannique. jan. 1982. non publié.

Poulin, V.A. 1981. «Fish/Forestry Interaction Research Program. Queen Charlotte Islands Working Plan». non publié. Centre de recherches forestières du Pacifique. Programme d'interaction: Poisson/Forêt. Victoria, Colombie-Britannique.

Puttock, G.D. 1982. «A Summary of Taxation Measures Affecting Forest Management on Private Lands in Ontario». Forestry Chronicle. vol. 58, pp. 100–103. Institut forestier du Canada. Ottawa, Ontario.

Reuter, F. 1973. «High Elevation Reforestation Problems in the Vancouver Forest District. A Problem Analysis». non publié. British Columbia Forest Service. Research Division. Victoria, Colombie-Britannique.

Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Publication nº 1300F. Service canadien des forêts, Environnement Canada. Ottawa, Ontario.

Scotter, G.W. 1971. «Fire, Vegetation, Soil and Barren-Ground Caribou Relations in Northern Canada». Proceedings: Fire in the Northern Environment—A symposium, College (Fairbanks) Alaska. pp. 209–230. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland, Oregon.

Seaton, F.A., *et al.* 1973. Report of the President's Advisory Panel on Timber and The Environment. pp. 541: ch. 2, Impacts of Timber Harvesting and Production on Environment, pp. 25–33. White House, Washington, D.C.

Service canadien des forêts. 1977. Fire Ecology in Resource Management: Travaux d'atelier. Rapport NOR-X-210. Centre de recherches forestières du Nord. Environnement Canada. Edmonton, Alberta.

Sidle, R.C. 1980. Impacts of Forest Practices on Surface Erosion. Oregon State University. Extension Service Report PNW 195. Corvallis, Oregon.

Smith, D.M. 1962. The Practice of Silviculture. 7th Edition. John Wiley & Sons Inc. New York, New York.

_____. 1973. «Maintaining Timber Supply in a Sound Environment». Report of the President's Advisory Panel on Timber and the Environment. White House, Washington, D.C.

Smith, P., et Borczon, E.L. 1977. «Managing for Deer and Timber.» Your Forests. 10(1): 13–24. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. Toronto, Ontario.

Smith. R.B. 1973. «Steep Slopes Logging». Journal of Logging Management. vol. 10, pp. 1794–1796, 1821. Big Wheel Publications Ltd. Vancouver, Colombie-Britannique.

Smith, R.B., et Wass, E.F. 1980. Tree Growth on Skidroads. Rapport BC-R-6. Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières du Pacifique. Environnement Canada. Victoria, Colombie-Britannique.

Spurr, S.H. 1981. Clearcutting on National Forests. Natural Resources Journal. vol. 21, nº 2, pp. 223–243. University of New Mexico, New Mexico.

Spurr, S.H., et Barnes, B.V. 1980. Forest Ecology. 3e édition. The Ronald Press Company. New York, New York.

Thirgood, J.V. 1981. Man and the Mediterranean Forest: A History of Resource Depletion. Academic Press Inc. New York, New York.

Toews, D.A.A., et Brownlee, M.J. 1982. A Handbook for Fish Habitat Protection on Forest Lands in British Columbia. Ministère des Pêches et des Océans du Canada. Vancouver, Colombie-Britannique.

Toews, D.A.A., et Moore, M.K. 1982. The Effects of Streamside Logging on Large Organic Debris in Carnation Creek. British Columbia Ministry of Forests. Land Management Report No. 11. Vancouver, Colombie-Britannique.

United States Congress. 1972. Clearcutting in National Forests. Congressional Record. Proceedings and debates of the 92d Congress, 2nd session. V. 118(30): S2986-S 2994.

United States Department of the Interior. 1979. Fire Management in the Northern Environment. Proceedings. Bureau Land Management. Anchorage, Alaska.

United States Forest Service. 1970. Management Practices on the Bitteroot National Forest. Missoula, Montana.

_____. 1976*a*. Kancamagus Unit Plan and Environment Statement. White Mountain National Forest. Rapport USDA-FS- R9-FESADM-7601. Laconia, New Hampshire.

_____. 1976*b*. Measuring Scenic Beauty:A Selected Annotated Bibliography. Genera! Technical Report. RM-25. Fort Collins, Colorado.

_____. 1979*a*. Environmental Consequences of Timber Harvesting in Rocky Mountain Coniferous Forests. Symposium Proceedings Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, Utah.

_____. 1979*b*. National Forest Landscape Management, Volume 2, Chapter 5, Timber. Agriculture Handbook. nº 559. Washington, D.C.

_____. 1979*c*. Environmental Consequences of Timber Harvesting in the Rocky Mountain Coniferous Forests. Symposium. General Technical Report. INT-90. Missoula, Montana.

_____. 1979*d*. Timber Resource Plan, Mt. Baker – Snoqualmie National Forest. Portland, Oregon.

_____. 1980. An Approach to Water Resources Evaluation of Non-Point Silvicultural Sources—A Procedural Handbook. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-600.8-80-012. Athens, Georgie.

_____. 1981. Fire Regimes and Ecosystem Properties. Proceedings of Conference. Honolulu. 1978. General Technical Report WO-26. Washington, D.C.

Université Laval. 1981. Proceedings: Symposium on Eastern Canada Small Private Land Forestry. octobre 1981. Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval. Québec, Québec.

Wall, R.E. 1977. Ericaceous Ground Cover on Cutover Sites in Southwestern Nova Scotia. Centre de recherches forestières des Maritimes. Rapport M-X-71. Service canadien des forêts, Environnement Canada. Frédéricton, Nouveau-Brunswick.

Webber, B., *et al.* 1969. Advance Growth Destruction, Slash Coverage and Ground Conditions in Logging Operations in Eastern Canada. Woodlands Paper No. 8. Institut de recherches des pâtes et papier du Canada. Pointe Claire, Québec.

Weetman, G.F. 1977. «La régénération forestière au Canada». Compte rendue de la conférence nationale sur la régénération forestière. pp. 126–135. Association forestière canadienne. Ottawa, Ontario.

_____. 1981. «Corporate Silviculture Activity in Canada 1980/81». An Industrial Assessment of Forestry Research in Canada. Thompson, K.M., éd. Institut de recherches des pâtes et papier du Canada. vol. III. Pointe-Claire, Québec.

_____. 1982. «The Evolution and Status of Canadian Silviculture Practice». Forestry Chronicle. vol. 58, pp. 74–78. Institut forestier du Canada. Ottawa, Ontario.

Weetman, G.F., et Cayford, J.H. 1972. «Canadian Institute of Forestry Policy for Selection, Protection and Management of Natural Areas». Forestry Chronicle. vol. 48, pp. 41–43. Institut forestier du Canada. Ottawa, Ontario.

Weetman, G.F., et Webber, B. 1972. «The Influence of Wood Harvesting on the Nutrient Status of Two Spruce Stands». Journal canadien de la recherche forestière. vol. 2, pp. 351–369. Conseil national de recherches Canada. Ottawa, Ontario.

White, G.H. 1972. «The History of Fire in North America». Fire in the Environment, Symposium Proceedings. pp. 3–11. United States Forest Service. Denver, Colorado.

Whitney, R.B., et McClain, K.M. 1981. Boreal Mixed Wood Symposium. Thunder Bay, Ontario. Service canadien des forêts. Rapport O-P-9 du Centre de recherches forestières des Grands lacs.

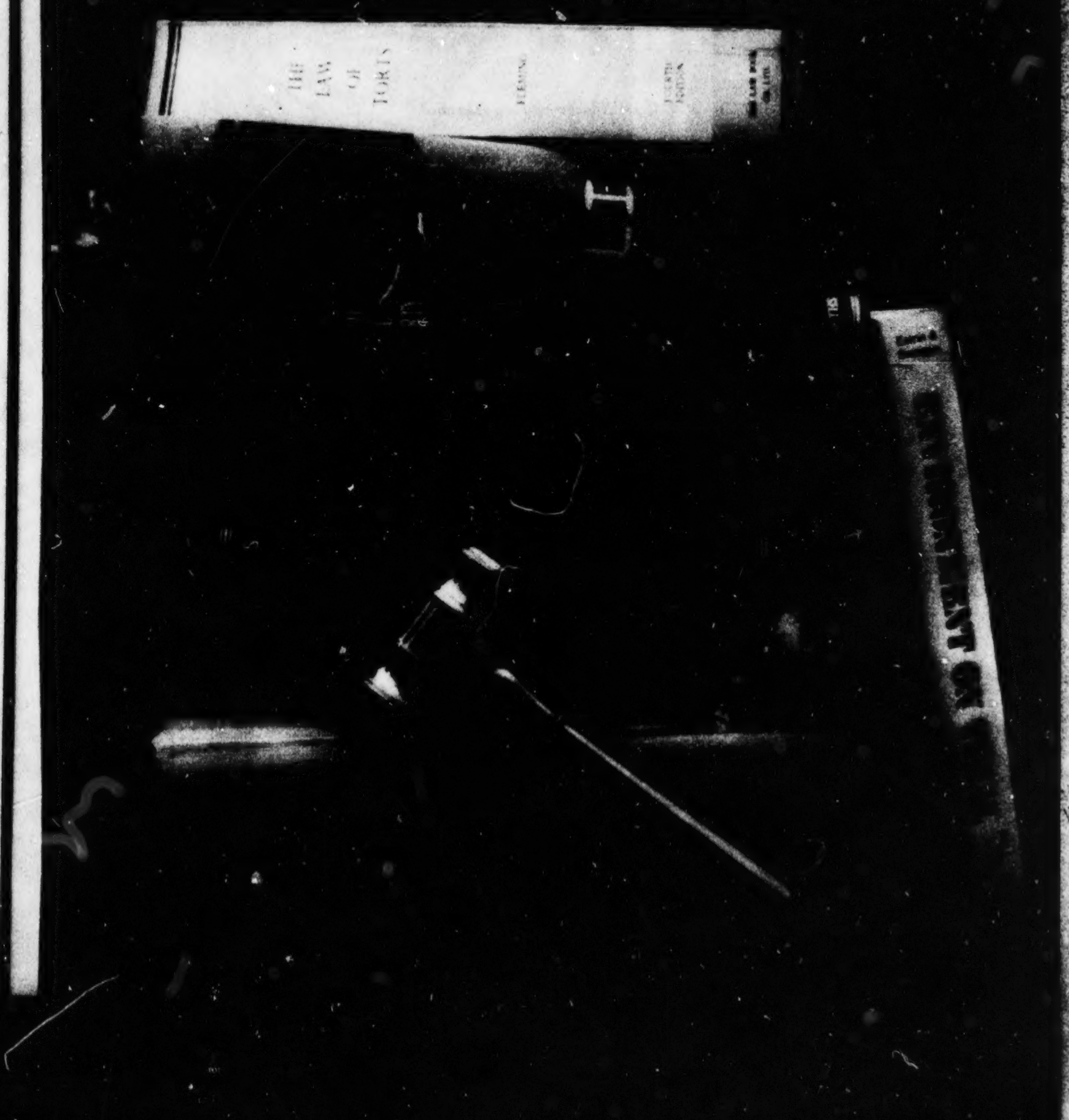
Wilson, C.C., et Dell, J.D. 1971. «The Fuels Build-up in American Forests: A Plan of Action and Research». Journal of Forestry. vol. 68, nº 8, pp. 471–475. Society of American Foresters. Washington, D.C.

Wood, N. 1971. Clearcut: The Deforestation of America. Sierra Club, San Francisco, Californie.

Young, C. 1977. «Cut Along the Dotted Line and Look at Coast Logging Guidelines". Forestalk. 1(4):6–12. British Columbia Ministry of Forests. Victoria, Colombie-Britannique.

Zasada, John C., *et al.* 1977. «Forest Biology and Management in High Latitude North American Forests». North American Forest Landsat Latitudes North of 60 Degrees. Proceedings Symposium. pp. 137–195. School Agriculture, University of Alaska, Fairbanks, Alaska.

LES LOIS SUR LES TERRES



LA TERRE ET LE DROIT DE L'ENVIRONNEMENT*

James Arthur Girling**

** *M. Girling, B.A. (Hons.), M.A., LL.B., M.B.A., est rédacteur pigiste spécialisé en droit, en politique et en administration.*

* *La plus grande partie de la recherche faite pour la rédaction du présent document était terminée le 31 mars 1980. Il peut ne pas refléter l'état du droit au moment de sa publication.*

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	329
LE SYSTÈME CONSTITUTIONNEL	329
LES FORMES DU DROIT	330
L'OBJET DU DROIT	331
LE CONCEPT JURIDIQUE DE LA TERRE	331
LA LÉGISLATION RELATIVE À LA DÉGRADATION DE LA TERRE	332
LE DROIT CRIMINEL	340
LES POURSUITES PRIVÉES	341
LES RECOURS CIVILS	342
LE DROIT INTERNATIONAL	345
LES TENDANCES FUTURES DU DROIT DE L'ENVIRONNEMENT	345
RENVOIS	347
LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES DANS LES CITATIONS	349

INTRODUCTION

À l'époque de la Confédération, la gestion de l'environnement ne posait pas de problèmes. Les ressources étaient illimitées et la population clairsemée. Le but immédiat consistait à ériger une nation en favorisant l'industrie et en encourageant le peuplement. Bien que la pollution et les autres dommages causés à la terre n'aient pas été activement encouragés ils étaient, à tout le moins, acceptés comme les conséquences naturelles du plus précieux des bienfaits: le progrès. Pour de nombreux Pères de la Confédération, l'environnement n'était que le décor des ressources naturelles, et celles-ci représentaient une source de revenus nécessaires. Celui qui se plaignait des activités de son voisin était libre de s'adresser aux tribunaux pour faire établir ses droits.

De nos jours, la conservation, l'entretien et la remise en état des terres sont considérés comme une valeur en soi, que l'on doit confronter avec les activités génératrices de revenus qui engendrent leur dégradation. Le droit traduit ce changement d'attitude. Cependant, ce que l'on peut appeler «droit de l'environnement» n'incombe pas uniquement à une seule autorité législative. Les lois sur l'environnement ont été élaborées selon un mode fragmentaire, à diverses périodes, par des autorités différentes; et cette tendance se poursuit. Pour comprendre, dans sa globalité la problématique du droit canadien de l'environnement, et à plus forte raison celle de sa composante «terre», il faut avoir une connaissance de base des mécanismes d'évolution et d'application du droit[1].

LE SYSTÈME CONSTITUTIONNEL

C'est dans l'Acte de l'Amérique du Nord britannique de 1867 que l'on trouve l'organisation fondamentale du gouvernement et du droit au Canada[2]. Lors de la proclamation de la Loi constitutionnelle de 1982, cette loi du Royaume-Uni (ainsi que ses modifications) est devenue de la compétence exclusive du Parlement du Canada. Cette Constitution, et les divers textes qui l'ont modifiée, ont donné au Canada et aux provinces le droit de légiférer pour elles-mêmes en fonction de leurs pouvoirs respectifs. Voici comment se présente la répartition des pouvoirs législatifs en ce qui concerne les questions relatives à l'environnement:

Gouvernement fédéral: la propriété publique, la réglementation du trafic et du commerce, l'île de Sable, la navigation et les bâtiments ou navires, la quarantaine, les pêcheries des côtes de la mer et de l'intérieur, les terres réservées pour les Indiens, la loi criminelle, les chemins de fer et autres travaux et entreprises de nature interprovinciale ou extra-provinciale, les travaux d'importance multi-provinciale ou nationale, l'adoption de mesures visant à l'uniformité des lois relatives à la propriété et aux droits civils, l'agriculture, l'exécution des obligations relatives aux traités de l'Empire britannique[3] et l'administration des territoires non compris dans une province[4].

Gouvernements provinciaux: les terres publiques, les institutions municipales, les travaux et entreprises d'une nature locale, la propriété et les droits civils dans la province, l'infliction de punitions concernant les infractions aux lois provinciales, les matières d'une nature locale ou privée, l'agriculture, la prospection, l'exploitation, la conservation et la gestion des ressources naturelles non renouvelables et des ressources forestières de la province et l'aménagement, la conservation et la gestion des emplacements et des installations de la province destinés à la production d'énergie électrique[5].

Toutes les lois en vigueur à l'époque de la Confédération devaient continuer d'exister, y compris les lois britanniques, la common law, le Code civil du Québec et les lois des colonies[6]. Mais le Canada, ainsi constitué, n'était toujours pas un État souverain: en vertu de la Loi de 1865 relative à la validité des lois des colonies[7], une loi légitimement adoptée au Canada pouvait être nulle dans la mesure où elle était incompatible avec une loi du Parlement britannique, un décret ou un règlement édicté en vertu de cette loi qui s'appliquait au Canada. Ce n'est qu'en vertu du Statut de Westminster[8], en 1931, que les législateurs canadiens fédéraux et provinciaux ont été libérés des restrictions frappant leur pouvoir législatif, à l'exception de la restriction au pouvoir de modifier les Actes de l'Amérique du Nord britannique[9]. Cinquante et un ans plus tard, avec le rapatriement de la Constitution, cette restriction n'existe plus.

La Constitution prévoit deux types précis de pouvoirs législatifs: les pouvoirs exclusifs et les pouvoirs communs. Ces derniers ne signifient pas qu'une personne peut choisir la loi à laquelle elle accepte d'obéir et passer outre à l'autre: la décision quant à celle qui prévaut se trouve ailleurs. Pour ce qui est de la compétence commune en matière d'agriculture[10], l'Acte donne à chacun des gouvernements provinciaux et fédéral le pouvoir de promulguer des lois qui portent sur ce sujet dans la province, mais la loi provinciale n'a d'effet que dans la mesure où elle n'est pas incompatible avec une loi du Parlement du Canada. Ainsi, l'Acte a expressément prévu la primauté du gouvernement fédéral dans ce cas.

Toutefois, il y a des catégories de sujets, relevant des compétences exclusives tant du gouvernement fédéral que des gouvernements provinciaux, dont les termes sont assez larges pour comprendre des questions qui ne sont pas expressément assignées à une administration en particulier. Il est important de se rappeler qu'on ne pouvait pas s'attendre à ce que les rédacteurs de 1867 soient doués de seconde vue, et qu'il existe des questions actuelles qu'on n'envisageait pas ou ne connaissait même pas à l'époque et qui, par conséquent, n'ont pas été expressément assignées par l'Acte. Il incombe aux législateurs de décider s'ils doivent légiférer ou non relativement à une question déterminée qui, après tout, doit relever des pouvoirs législatifs d'une administration au moins, parce qu'il faut considérer la répartition constitutionnelle des pouvoirs comme exhaustive. Lorsque, comme dans le cas de la protection de l'environnement, le domaine législatif n'est pas unique en soi mais porte sur une multitude de problèmes ayant diverses implications constitutionnelles, la question de compétence devient beaucoup plus complexe.

En fin de compte, ce sont les tribunaux qui décident si un texte législatif relève à bon droit des pouvoirs de l'administration qui l'a promulgué. Mais, tant que la légitimité d'une loi n'est pas mise en cause, il est possible que des lois fédérales et provinciales traitent de la même question, chacune d'elles exigeant que ses dispositions soient respectées. Depuis la Confédération, les tribunaux ont établi une abondante jurisprudence pour aider à évaluer les revendications contradictoires sur le plan des pouvoirs législatifs. Les pouvoirs exclusifs s'appliquent aux catégories de sujets énumérés, mais uniquement aux matières «tombant dans» ces catégories, c'est-à-dire entièrement circonscrites par celles-

ci[11]. Toutefois, une question peut tomber partiellement dans deux ou plusieurs catégories et celles-ci peuvent être assignées à des administrations différentes. Un point est très clair: aucune administration ne peut adopter une loi à l'égard d'une catégorie de sujets relevant de la compétence exclusive d'une autre administration. Une telle loi, dont l'objectif principal serait d'exercer un contrôle sur une catégorie de sujets hors de ses pouvoirs (bien que possiblement rédigée en termes visant à soumettre la question à un ou plusieurs de ses propres pouvoirs[12]) ne serait pas valide parce qu'inconstitutionelle[13].

Si une loi, par ailleurs valide, promulguée par une administration, ne porte qu'accessoirement sur une catégorie de sujets relevant des pouvoirs exclusifs de légiférer d'une autre administration, cette loi peut être inapplicable seulement dans la mesure où elle empiète sur les pouvoirs de l'autre administration. Il a été jugé qu'un arrêté municipal anti-pollution ne s'appliquait pas à un navire, bien que celui-ci fût amarré dans les limites de la municipalité, parce que la mise en application du règlement aurait gêné le fonctionnement effectif du navire (dont les machines émettaient la pollution), ce qui était légalement une responsabilité fédérale à l'égard de la navigation et des bâtiments ou navires[14]. La décision aurait pu être différente si le navire avait simplement été le lieu de la pollution, la cause n'ayant aucun rapport avec ses fonctions en tant que navire[15].

Il est des cas où une question ne tombe pas nettement dans une catégorie définitive fédérale ou provinciale et où chaque administration a la compétence de légiférer. Mais lorsque les lois de ces administrations, dans ce domaine de l'empiètement, sont incompatibles, la loi fédérale l'emporte, c'est-à-dire qu'elle a la prépondérance[16]. La loi provinciale, dans ce cas, ne prend pas effet; cela ne veut pas dire pour autant qu'elle est invalide. Si la loi fédérale n'avait jamais existé ou si elle cessait d'exister, par exemple si elle était abrogée, la loi provinciale serait exécutoire. Une certaine jurisprudence a retenu que lorsque les administrations fédérale et provinciales sont compétentes pour légiférer, si la province impose les normes les plus sévères, elles seront valables et, par conséquent, exécutoires, quoique des normes moins sévères que celles du fédéral ne le seraient pas[17]. De même, des normes municipales qui sont plus strictes que celles de la province sont exécutoires, alors que celles qui sont moins sévères ne seraient pas valides. L'effet est le même, mais dans ce dernier cas la municipalité tient ses pouvoirs et son existence même de la province et n'y a pas un droit constitutionnel[18].

Ensemble, les gouvernements fédéral et provinciaux possèdent l'éventail complet des pouvoirs législatifs relativement à toutes questions, indépendamment de la manière dont ces pouvoirs sont répartis entre eux. En dépit du fait qu'une administration ne puisse pas déléguer ses pouvoirs législatifs à une autre[19], la collaboration et la coordination sont possibles moyennant la délégation de pouvoirs administratifs à un organisme secondaire de l'autre administration[20]. Toutefois, l'inter-délégation entre les provinces est pratiquement impossible, parce que les pouvoirs législatifs de chacune d'elles sont restreints à ses frontières territoriales. Toute tentative par une province de légiférer au delà de ses propres frontières serait inconstitutionelle[21].

L'attitude d'une province à l'égard d'une question donnée, par exemple la protection de l'environnement, peut être différente de celle de toutes les autres, bien qu'en pratique leurs lois soient rarement tout à fait différentes. Étant donné que la probabilité que toutes les provinces adoptent une législation identique sur l'environnement soit mince, un moyen possible de réaliser l'uniformité est l'adoption d'une loi fédérale ayant effet dans tout le Canada. Cela ne pourrait se produire que si la pollution était perçue, d'une manière générale, comme étant un problème d'une telle envergure nationale qu'elle cesserait d'être une question de caractère simplement local et entrerait ainsi dans les pouvoirs non attribués du Parlement du Canada concernant «la paix, l'ordre et le bon gouvernement»[22], ou dans une catégorie de compétence fédérale qui serait valide dans les circonstances.

Photo 1. Édifices du Parlement, Ottawa.
NFB–PHOTOTHEQUE–ONF D. Siemiensiu

LES FORMES DU DROIT

Au Canada, le droit relatif à l'environnement peut revêtir diverses formes, dont la plus connue est sans doute le texte législatif. Celle-ci est adoptée par le Parlement ou par la législature provinciale et reçoit la sanction royale. Si ses dispositions l'exigent, en tout ou en partie, la loi n'entre pas en vigueur avant d'avoir été promulguée, et en vertu d'un décret du Cabinet seulement. La plupart des lois définissent simplement les limites de leur application, laissant au Cabinet les pouvoirs secondaires d'établir des règlements ou des décrets concernant l'objet précis de ces lois. En réalité, le Cabinet adopte les règlements rédigés par les fonctionnaires du ministère compétent chargé de mettre la loi en application. Ainsi, bien que les lois puissent être faites seulement par les législateurs élus, une grande partie de leurs pouvoirs en matière législative est en fait déléguée à des administrateurs non élus.

Deux autres types de textes législatifs ne portent pas le nom de «loi» mais, en fait, ressemblent à celle-ci: les arrêtés municipaux et les ordonnances. Un arrêté municipal est, en général, un texte législatif adopté par le Conseil d'une corporation municipale en vertu de pouvoirs conférés par la province. L'ordonnance est un genre de texte législatif particulier aux Territoires, les pouvoirs législatifs étant dévolus au commissaire du territoire sur l'avis de son Conseil. Comme dans le cas des lois provinciales, les effets des arrêtés municipaux et des ordonnances sont restreints aux limites territoriales de leurs pouvoirs en matière législative.

La «common law» est peut-être moins connue mais elle est également classifiée comme «droit». Ce système illustre la tradition judiciaire qui tente d'assurer la cohésion et la certitude du droit relativement à une question déterminée. Il est fondé sur des cas antérieurs, des décisions constituant des précédents qui doivent être suivis en l'absence d'une loi et pour autant qu'ils sont conformes aux normes acceptées de la société actuelle. Toutefois, dans des circonstances normales, les tribunaux ont tendance à s'en rapporter aux législatures pour remplacer des vieilles règles de common law par des lois qui reflètent les normes de la société contemporaine. La common law s'applique à tout le Canada à l'exception du Québec, auquel la Constitution a garanti son propre Code civil pour déterminer les obligations légales entre individus.

Parce que chaque province et chaque territoire a son propre système judiciaire et ses propres lois en matière de propriété et des droits civils, les décisions portant sur une même situation de fait peuvent varier d'une administration à l'autre. Il peut y avoir également des différences d'interprétation des lois et de la common law d'une administration à l'autre. Ainsi, un tribunal situé dans l'une d'elles ne doit pas nécessairement reconnaître la décision rendue par un tribunal situé dans une autre, même si elle est fondée sur les mêmes faits. Toutefois, en pratique, les tribunaux d'instance inférieure d'une province ou d'un territoire tendent à accepter les décisions rendues par des tribunaux d'instance supérieure d'autres provinces ou territoires (aussi bien d'ailleurs que de Grande-Bretagne) comme ayant au moins un certain poids, même s'ils ne s'estiment pas liés par ces déci-

sions. Cependant, un tribunal d'instance inférieure se considérera lié par la décision d'un tribunal d'instance supérieure rendue dans un même ressort tant qu'elle ne sera pas infirmée.

L'OBJET DU DROIT

D'une manière générale, le droit poursuit cinq grands buts: l'incitation, la prévention, la réglementation, l'indemnisation et la punition. La common law et le Code civil mettent l'accent sur la prévention et l'indemnisation. Les lois ne sont habituellement pas conçues pour poursuivre un seul but mais présentent souvent de multiples facettes. Bien que chaque but soit distinct des autres, il peut y avoir dans une même loi un mélange de buts visant à établir un système complet relativement à l'objet de cette loi.

L'incitation peut, d'une manière générale, être considérée comme portant sur de l'argent. En d'autres termes, le gouvernement accorde certains avantages économiques ou financiers à quelqu'un qui entreprend un programme particulier. Un simple exemple en est l'établissement de subventions à la recherche, de subsides ou même d'un organisme gouvernemental complet dans le but de favoriser l'avancement d'une ou plusieurs applications technologiques. Une méthode moins directe d'incitation consiste à autoriser la déduction à des fins fiscales, au cours d'un exercice financier, d'un montant allant jusqu'à la moitié du coût d'achat en capital de certains types de matériel destiné au contrôle de la pollution.[23]

La prévention peut consister à établir des normes ou des interdictions précises, en laissant à l'intéressé le soin de s'y conformer. Cela est parfois difficile à réaliser s'il existe des différences importantes dans les situations auxquelles les normes sont censées s'appliquer. Une autre méthode de prévention, plus souple, qui a été utilisée pour compléter la première, consiste à exiger, comme en Ontario, que l'on fasse une évaluation des répercussions qu'aurait un projet si l'on autorisait son exécution[24]. De cette manière, des conditions convenant à chaque cas peuvent être exigées lors de l'approbation du projet, si tant est qu'il soit approuvé. La prévention peut également être réalisée indirectement, les normes ou les interdictions visant autre chose que la terre elle-même. Les lois régissant le défrichement de la terre, par exemple en matière forestière, peuvent avoir pour effet de prévenir l'érosion du sol. La protection de la flore et de la faune, comme par exemple les espèces en voie de disparition, dans une zone déterminée peut, en fait, constituer une protection de la terre dans cette zone, parce que la qualité du sol détermine normalement le genre de vie qui peut y subsister.

La réglementation a souvent un double but. D'une part, elle peut prescrire la surveillance et le contrôle d'une activité en vue de s'assurer que les normes établies sont respectées. Une telle réglementation prévoit l'inspection ou la révision périodiques par des fonctionnaires, par exemple la Commission de contrôle de l'énergie atomique[25], qui peuvent avoir le pouvoir de retirer l'autorisation gouvernementale nécessaire à l'exploitation, ou d'en refuser le renouvellement. D'autre part, grâce à des droits de permis, elle peut fournir au gouvernement une source de revenu pour appliquer la loi.

L'indemnisation peut être prévue de trois manières principales. Premièrement, la loi peut stipuler que, sur la preuve d'une infraction, des indemnités sont exigibles du contrevenant. Deuxièmement, la simple existence d'un dommage peut être déclarée suffisante pour rendre strictement responsable la personne chargée de la cause de ce dommage. Troisièmement, comme c'est le cas en vertu de la Loi sur l'indemnisation pour dommages causés par les pesticides[26], indépendamment de la question de savoir si quelqu'un est fautif ou responsable, l'indemnité peut être payée une fois que le dommage est évalué, que ce soit par prélèvement sur un fonds ou autrement.

La peine applicable aux infractions est souvent comprise dans le texte législatif, qu'il soit fédéral, provincial, territorial ou municipal, pour produire (du moins en théorie) un effet de dissuasion. La peine peut consister en une amende ou en une peine d'emprisonnement ou les deux à la fois, s'il en est fait mention. Dans la plupart des cas, on accorde aux tribunaux un pouvoir discrétionnaire à l'égard de l'étendue de la pénalité, sous réserve d'un maximum. Cependant, il peut y avoir des cas où l'infraction entraîne une sanction minimale prescrite.

LE CONCEPT JURIDIQUE DE LA TERRE

Historiquement, la détention de la terre, par possession ou en propriété, est la source du pouvoir en vertu du système de gouvernement britannique et, par conséquent, canadien[27]. Toute terre, même celle possédée par un particulier, est détenue au gré de la Couronne qui, à l'origine, l'a concédée. Ce phénomène, évident à l'époque féodale, demeure toujours vrai dans une certaine mesure. Le principe du droit de la Couronne, exercé par le gouvernement au pouvoir, prévaut. C'est ce concept qui assure l'ordre social et la stabilité. Autrefois, on n'attribuait pas de valeur à la terre en soi. Cette valeur dépendait de ce qu'elle produisait: récoltes, minéraux, bois et loyers. Au Canada, la Couronne a acquis toutes les terres par voie de conquête et de découverte, lesquelles étaient faites au nom du souverain. Bien qu'aujourd'hui le droit de propriété de la terre soit presque absolu, la Couronne continue d'y avoir un intérêt. Cela apparaît dans la division des concessions de terres en deux catégories distinctes: le sol proprement dit et les droits minéraux qui y sont attachés. À moins que la cession initiale faite par la Couronne ne comprît expressément les droits minéraux, ceux-ci étaient retenus et pouvaient être accordés à quelqu'un d'autre

Photo 2. Armoiries du Canada et des provinces.
NFB-PHOTOTHEQUE-ONF

qu'au propriétaire de la terre. Même si les droits miniéraux étaient compris dans la concession, ils peuvent être détachés de la propriété de la terre. Mais compte tenu de la restriction relative aux droits minéraux, tant la common law que le Code civil (art. 414) reconnaissent que la propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous[28], ainsi que le droit d'en faire usage (art. 406). Ce principe s'applique tant à la propriété publique, soit les terres de la Couronne, qu'à la propriété privée.

Le droit d'utiliser la terre dont on est propriétaire comporte celui de faire cesser toute entrave à cet usage par un tiers. Un problème se présente lorsqu'un propriétaire utilise sa terre d'une façon qui gêne l'usage d'une autre terre par son propriétaire. Quelle place tient la loi dans une telle situation? Il est généralement admis que la société et, par conséquent, le gouvernement, ont intérêt à protéger l'environnement et peuvent ainsi imposer des restrictions à l'usage d'une propriété qui cause des modifications préjudiciables à la qualité du sol. Cependant, une récente décision rendue en Ontario a reconnu qu'il ne fallait pas s'immiscer légèrement dans ce qui était considéré comme une activité polluante, si ses effets étaient limités à la terre même d'une personne, à moins que le libellé de la loi ne le permette expressément[29]. Les droits de propriété peuvent être considérés comme le facteur distinctif essentiel du concept juridique de la terre, par rapport à l'air et à l'eau, pour ce qui est de la protection de l'environnement. Ces deux autres éléments sont fluides et ne sont pas limités à un seul endroit. Bien qu'une personne puisse être propriétaire d'une terre que l'air et l'eau touchent, il est pratiquement impossible d'exercer sur ces derniers un contrôle absolu. Par conséquent, on peut dire qu'un propriétaire a le droit d'utiliser l'air et l'eau accessoirement à sa détention de la terre, mais c'est la Couronne qui a le droit dominant relativement à leur qualité et ce, à l'avantage de tout le monde.

Le gouvernement peut vouloir que certaines terres soient détenues pour l'usage de la population. Il s'agit de terres de la Couronne, mais qui sont consacrées à l'usage d'une catégorie particulière de personnes: les parcs, tant nationaux que provinciaux, sont consacrés à l'usage du public et les réserves indiennes à celui des bandes. Étant donné que l'usage est assujetti aux textes législatifs pertinents, la Couronne conserve le droit résiduaire d'étendre, diminuer, modifier de toute autre façon ou reposséder la terre pour d'autres buts[30]. Par conséquent, la Couronne demeure propriétaire de cette terre et le membre d'une catégorie à laquelle la terre est consacrée peut n'avoir aucun statut juridique lui permettant d'entraver l'exercice par le gouvernement de ses droits de propriétaire pour endommager une partie quelconque de cette terre. Cela est certainement le cas au moins en ce qui concerne les parcs de l'Ontario[31] et, vu la similitude du libellé des lois concernant la consécration des terres à un certain usage, le raisonnement s'étend probablement aux autres administrations.

Photo 3. Terres réservées à des fins récréatives: parc national des lacs Waterton.
NFB–PHOTOTHEQUE–ONF George Hunter

Le sens pratique du concept juridique de la terre pour le propriétaire dont la terre a été polluée réside dans l'évaluation du montant qu'il peut récupérer pour le dommage qu'il a subi. La récupération dépend de la mesure dans laquelle la valeur de la terre a été dépréciée par la pollution. Même aujourd'hui, la valeur est intimement liée à l'usage qui est fait ou que l'on peut faire de la terre, et rarement à une valeur esthétique. Cela ne veut pas dire qu'on n'accordera pas une valeur de remplacement à une végétation naturelle ou décorative, mais la végétation n'est pas de la terre (à l'exception peut-être de la tourbe et des plaques de gazon). La pollution dont on se plaint peut être due à la terre elle-même. Par exemple, le sable transporté par l'homme, l'eau ou le vent sur une propriété où pousse une culture délicate crée autant de pollution que toute autre matière dommageable. La question qui se pose est de savoir dans quelle mesure la terre est endommagée, temporairement ou d'une manière permanente. Une terre résidentielle ou agricole qui est polluée au point d'être impropre à l'habitation ou à la production des cultures particulières à la région peut être évaluée par rapport à la valeur ordinaire de la terre exploitée dans ce but et dans cette région, moins sa valeur actuelle dépréciée. La valeur qu'y attache le propriétaire doit être la valeur actuelle et réelle et non pas une valeur future et spéculative: elle doit dépendre de l'usage qui est fait de la terre. Parfois, cet usage constitue lui-même une dégradation de la terre: par exemple, une sablière commerciale dont l'exploitation est le seul usage qu'on fait de cette propriété. Dans ce cas, le terrain endommagé, par exemple par un déversement d'hydrocarbures, peut être évalué conformément à la valeur marchande d'une sablière et non par rapport à la valeur des terres environnantes utilisées dans un but différent. La valeur marchande actuelle que ce propriétaire attache à la terre, si l'usage n'est pas illégal ou immoral, est le critère qu'il faut utiliser pour fixer la valeur de cette terre et, partant, le montant de sa dépréciation.

LA LÉGISLATION RELATIVE À LA DÉGRADATION DE LA TERRE

La nomenclature qui suit ne constitue nullement une liste exhaustive des lois et ordonnances relatives à la dégradation de la terre (les décrets, règlements et arrêtés municipaux en sont exclus). Toutefois, elle représente les dispositions les plus importantes en matière de qualité de la terre pour les administrations mentionnées.

Canada

Loi sur le contrôle de l'énergie atomique, S.R.C. 1970, c. A-19.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, a été adoptée pour surveiller la production d'énergie atomique. En vertu de l'art. 9, l'organisme administratif créé par la loi, (la Commission de contrôle de l'énergie atomique) possède de vastes pouvoirs qu'il doit utiliser pour garantir la sécurité de l'industrie. La Commission a les pouvoirs déterminés d'autoriser, par permis, l'exploitation minière et de réglementer la production, l'importation, l'exportation, le transport, le raffinage, la possession, la propriété, l'usage ou la vente des substances propres à dégager de l'énergie atomique prescrites. Toute infraction à la loi ou à un de ses règlements rend son auteur passible d'une amende allant jusqu'à 10 000 $, d'un emprisonnement de dix ans, ou de ces deux peines à la fois. (art. 19).

Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique, S.C. 1970-71-72, c. 47.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, a été conçue pour établir des normes relatives au dégagement d'agents de contamination dans l'air ambiant. Le Cabinet a le pouvoir de prescrire des normes nationales de dégagement établissant les quantités maximales d'un agent de contamination qui peuvent être dégagées par catégorie déterminée de source fixe, si la concentration produite par cette catégorie constitue un danger appréciable pour la santé des personnes ou constitue une violation

d'une obligation internationale (art. 7). La loi définit l'expression «agent de contamination» comme désignant «un solide, un liquide, un gaz, une odeur ou une combinaison de l'un quelconque d'entre eux» dont le dégagement cause une pollution de l'air (art. 2). Par suite de cette définition, la loi devient significative relativement à la dégradation du sol, à cause de son application aux particules atmosphériques et à la pollution par les pluies acides. D'une manière générale, les normes de dégagement s'appliquent à tous les ouvrages, toutes les entreprises et affaires relevant de la compétence législative du gouvernement fédéral (art. 10–18). Quiconque enfreint une de ces normes est passible d'une amende allant jusqu'à 200 000 $ (art. 9 et 33). Les inspecteurs désignés en conformité de la Loi (art. 27) ont le droit d'entrer dans tout lieu et d'examiner les activités auxquelles les normes s'appliquent (art. 28–30). Dans les affaires relevant de la compétence fédérale, les inspecteurs peuvent également ordonner aux responsables des travaux de respecter les normes ou de cesser l'exploitation qui cause la pollution (art. 16–17). Mais le pouvoir des inspecteurs n'est pas restreint aux activités déjà en cours: ils peuvent exiger la soumission, à des fins d'évaluation, des plans et devis d'un ouvrage, d'une entreprise ou d'une affaire relevant de la compétence fédérale, qui est susceptible d'entraîner le dégagement d'un agent de contamination de l'air lorsque les travaux seront terminés. S'ils décident que des dégagements éventuels sont inacceptables, ils peuvent, par ordre, exiger la modification des plans ou interdire leur exécution (art. 15).

Loi sur les contaminants de l'environnement, S.C. 1974-75, c. 72.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, vise à contrôler les substances qui constituent une menace à l'environnement, par exemple les P.C.B. Elle accorde au Ministre, seul ou conjointement avec le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social ou avec les gouvernements provinciaux, le pouvoir de recueillir des données et de faire des enquêtes sur une substance (art. 3). On peut exiger des personnes qui importent la substance ou se livrent au commerce, à la fabrication ou à la transformation de la substance, sur un avis donné par le ministre, de fournir tous les renseignements qu'elles possèdent sur cette substance ou de faire les expériences qui leur sont demandées. De plus, une fois l'avis public donné, quiconque, pour la première fois, fabrique ou importe plus de cinq cents kilogrammes d'une substance doit en informer le Ministre (par. 4(6)). Si le ministre de l'Environnement et le ministre de la Santé nationale et du Bien-être social sont convaincus qu'une substance pose un danger sérieux à l'environnement, ils peuvent la porter sur l'annexe de la loi, soit après consultation avec les gouvernements provinciaux intéressés (art. 5) soit, en cas d'urgence, immédiatement (par. 7(3)). L'annexe peut restreindre, par quantité ou par région, l'usage de l'agent de contamination. Les personnes qui importent, fabriquent, transforment, mettent en vente ou utilisent sciemment cette substance en violation des restrictions sont coupables d'une infraction et passibles d'une amende de 100 000 $ ou d'un emprisonnement de deux ans (art. 8). Les inspecteurs chargés de l'application de la loi ont des pouvoirs de perquisition et de saisie de la substance (art. 10 et 11), laquelle peut être confisquée en cas de déclaration de culpabilité (art. 13). Des règlements établis en vertu de la loi peuvent restreindre encore davantage l'usage d'une substance mentionnée à l'annexe (art. 18).

Loi de 1979 sur l'organisation du gouvernement, S.C. 1978-79, c. 13.

La partie III de cette loi, intitulée Ministère de l'Environnement, rend le Ministre responsable de tous les domaines non attribués à d'autres organismes du gouvernement, et liés à la conservation et l'amélioration de la qualité du sol (al. 5 *a*).

Loi sur les Indiens, S.R.C. 1970, c. I-6.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien, contrôle l'usage des terres réservées aux Indiens. Quiconque, autre que le membre d'une bande, entend occuper ou utiliser une réserve, ou autrement exercer des droits sur une réserve, doit obtenir un permis du Ministre (art. 28). Ce permis est également nécessaire à toute personne qui veut enlever d'une réserve des minéraux, des pierres, du sable, du gravier, de la glaise ou de la terre. La personne qui procède à un enlèvement non autorisé est, sur déclaration de culpabilité, passible d'une amende de 500 $ ou d'un emprisonnement de trois mois (art. 93). La destruction des déchets dans les réserves doit être conforme au règlement du Ministère (C.R.C. 1978, c. 960), faute de quoi le permis peut être annulé et des mesures de nettoyage ordonnées, en plus d'une amende de 100 $, d'un emprisonnement de trois mois ou des deux peines à la fois. L'usage de la terre peut également faire l'objet d'un statut administratif établi par le conseil d'une bande, statut qui, probablement, varie d'une réserve à l'autre (art. 81).

Loi sur les lieux et monuments historiques, S.R.C. 1970, c. H-6, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, autorise le Ministre à assurer l'administration, la conservation et l'entretien des lieux historiques établis par la loi (art. 3).

Loi sur l'Office national de l'énergie, S.R.C. 1970, c. N-6, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, porte sur le tracé, la construction et l'exploitation de pipelines s'étendant au delà des limites d'une province. L'Office national de l'énergie est l'organisme administratif investi du pouvoir de délivrer un certificat relativement à ces pipelines (art. 26, 27) et d'ordonner leur réparation, leur reconstruction ou leur modification (par. 39(1)). L'Office, en plus d'évaluer les répercussions de chaque demande de certification d'un pipeline, peut édicter des règlements d'application générale pour la protection des biens (par. 39(2)), y compris la qualité du sol (C.R.C. 1978, c. 1052, al. 4*b*). Quiconque viole un règlement est coupable d'une infraction punissable sur déclaration sommaire de culpabilité (par. 39(3)) et tout dommage causé doit faire l'objet d'une indemnité (art. 64).

Loi sur les parcs nationaux, S.R.C. 1970, c. N-13.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, accorde à la population des terres récréatives dans un état presque naturel. Le Cabinet peut établir des règlements visant la préservation, le contrôle et l'administration des parcs (par. 7(1)). Par exemple, le contrôle du dépôt de déchets dans les parcs nationaux a été délégué à son surintendant (C.R.C. 1978, c. 1124, art. 18). Toute infraction à une disposition de la loi ou d'un règlement adopté en vertu de celle-ci est passible, après déclaration sommaire de culpabilité, d'une amende de 500 $ (par. 8(1)).

Loi sur la responsabilité nucléaire, S.R.C. 1970 (1er supplément), c. 29.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, a été adoptée pour prévoir l'indemnisation de dommages causés aux biens par une substance fissile ou radioactive placée sous la dépendance de l'exploitant d'une installation nucléaire faisant l'objet d'une licence. Cet exploitant est complètement responsable, sans preuve de faute ou de négligence (art. 4), sauf si l'accident qui a causé le dommage résulte d'un conflit armé (art. 7). La loi autorise la Commission de contrôle de l'énergie atomique à exiger des exploitants qu'ils maintiennent, à concurrence de soixante-quinze millions de dollars, une assurance couvrant leur responsabilité (art. 15).

Loi sur la production et la conservation du pétrole et du gaz, S.R.C. 1970, c. 0-4, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien

ainsi que du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, réglemente l'exploration et l'exploitation du pétrole et du gaz dans le territoire du Yukon et les Territoires du Nord-Ouest, dans les terres de la Couronne fédérales et dans les eaux côtières qui ne se trouvent pas dans les limites de la compétence provinciale (art. 3). Le Cabinet est autorisé à établir des règlements concernant l'exploration, le forage, la production, le traitement et le transport du pétrole et du gaz et, plus particulièrement, concernant l'immatriculation des puits, la prévention du gaspillage, les mesures à adopter pour retenir le pétrole et le gaz dans leur strate d'origine ainsi que pour prévenir la pollution du sol (al. 12 a), l), n), q)). Bien que le gaspillage constitue une infraction, des poursuites ne peuvent être intentées qu'avec le consentement du Ministre (art. 13). La loi autorise un Directeur de la conservation à faire une enquête en cas de gaspillage et à ordonner la cessation des opérations pour éviter la pollution (art. 14). Le fait de ne pas se conformer à l'ordonnance du Directeur de la conservation constitue en soi une infraction (par. 48(4)). Lorsqu'une personne est déclarée coupable d'une infraction établie par la loi, le tribunal peut ordonner à cette personne de se conformer à la loi ou aux ordonnances appliquant ses dispositions (art. 50).

Loi sur les produits antiparasitaires, S.R.C. 1970, c. P-10.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Agriculture, prescrit que les pesticides et les herbicides doivent être enregistrés avant d'être importés, vendus ou transportés d'une province à une autre (art. 4). Le Cabinet peut établir des règlements concernant la fabrication ou l'usage de ces produits (al. 5*j*). Un de ces règlements accorde au Ministre le pouvoir discrétionnaire de refuser l'enregistrement d'un produit antiparasitaire si son usage présente un risque inacceptable de dommage à l'environnement (C.R.C. 1978, c. 1253, al. 18 *d*). Toute infraction à la loi ou à ses règlements est passible d'une amende, d'un emprisonnement de deux ans ou des deux peines à la fois (art. 10). Les inspecteurs désignés par le Ministre ont des pouvoirs de perquisition et de saisie. Lorsqu'une personne a été déclarée coupable de contravention à la loi, le produit antiparasitaire détenu doit être confisqué (art. 6–9).

Loi sur l'indemnisation pour dommages causés par les pesticides, S.R.C. 1970, c. P-11.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Agriculture, vise à indemniser l'agriculteur dont la récolte est contaminée par l'utilisation, faite conformément aux usages approuvés, d'un produit antiparasitaire enregistré en vertu de la Loi sur les produits antiparasitaires (par. 3(1)). Bien que la loi ne prévoie pas d'indemnisation pour le dommage causé au sol en soi, l'indemnisation peut être obtenue tant que le produit antiparasitaire demeure dans le sol et contamine les récoltes qui s'y trouvent.

Loi sur les terres territoriales, S.R.C. 1970, c. T-6.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien, s'applique aux terres du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest qui sont sous le contrôle de la Couronne (art. 3). Elle permet au Cabinet, en consultation avec le Conseil territorial compétent, de désigner certaines zones comme zones de gestion des terres et d'établir des règlements concernant la protection, le contrôle et l'utilisation de la surface de terres situées dans ces zones (art. 3.1, 3.2). L'utilisation de la surface peut être assujettie à un permis et le fait de ne pas se conformer aux modalités de ce dernier ou à d'autres règlements constitue une infraction passible d'une amende de 5 000 $ (art. 3.3). De plus, le Cabinet a le pouvoir d'autoriser une enquête sur des questions touchant aux terres territoriales (al. 19*h*). La Commission Berger a été instituée en vertu de ce pouvoir pour entreprendre ce qui équivalait à une évaluation complète des répercussions écologiques du tracé du pipeline projeté dans la vallée du Mackenzie.

Alberta

Agricultural Chemicals Act, R.S.A. 1980, c. A-6, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, contrôle les engrais, les pesticides et autres produits d'amendement du sol (al. 2*a*). Les règlements peuvent exiger l'enregistrement de substances comme produits chimiques agricoles et restreindre (ou même interdire) leur usage, leur vente ou leur fourniture, y compris leur mode d'élimination (art. 10 et 25). Que ces substances figurent ou non expressément dans les règlements comme produits chimiques agricoles, si le directeur de la lutte contre la pollution estime qu'elles causent ou peuvent causer des dommages à la terre, il peut ordonner que le responsable se conforme à des mesures précises, y compris l'interdiction d'utiliser ces substances. Les inspecteurs ont le droit de vérifier si la loi et les règlements ont été respectés et peuvent prélever des échantillons du sol pour les analyser (art. 22). Toute personne déclarée coupable d'une infraction est passible d'une amende de 1 000 $, de quatre-vingt-dix jours d'emprisonnement ou des deux peines à la fois (art. 26).

Alberta Environmental Research Trust Act, R.S.A. 1980, c. A-20.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, stipule le financement de la recherche concernant l'amélioration de la qualité de l'environnement (art. 3).

Beverage Container Act, R.S.A. 1980, c. B-4.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, réglemente les emplacements d'élimination des contenants de boissons, exigeant que l'exploitant ait une licence sous peine d'une amende de 1 000 $ sur déclaration de culpabilité (art. 2, 16 et 18).

Clean Air Act, R.S.A. 1980, c. C-12.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, est l'équivalent provincial de la Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique fédérale. L'article relatif aux infractions à la loi stipule une amende de 5 000 $ (art. 16). La personne qui enfreint l'ordonnance d'arrêt ministérielle est passible d'une amende maximum de 10 000 $ par jour, d'une peine d'emprisonnement de douze mois ou des deux à la fois (par. 14(4)).

Coal Conservation Act, R.S.A. 1980, c. C-14.

Cette loi vise à aider à la lutte contre la pollution (al. 4*e*). Pour qu'une mine de charbon ou une usine de transformation puisse être ouverte, exploitée ou abandonnée, le ministre de l'Environnement doit autoriser l'émission d'un permis ou d'une licence, assorti(e) ou non de certaines conditions (art. 21 et 23).

Photo 4. Les ressources énergétiques souterraines: extraction de charbon par dynamitage en Alberta.
NFB–PHOTOTHEQUE–ONF Larry Monk

Department of the Environment Act, R.S.A. 1980, c. D-19.

Il s'agit de la loi qui crée le ministère chargé de promouvoir la conservation des ressources natu-

relles, y compris des terres, ainsi que leur gestion et leur protection contre la pollution (art. 1, 2 et 8).

Forest and Prairie Protection Act, R.S.A. 1980, c. F-14.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, donne au Ministre le pouvoir de contraindre, à la demande d'un ministre ou d'un organisme s'occupant de la pollution causée par l'industrie du pétrole et du gaz, tous les hommes valides à participer aux opérations de nettoyage (art. 29).

Hazardous Chemicals Act, R.S.A. 1980, c. H-3.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, est l'équivalent provincial de la Loi sur les contaminants de l'environnement fédérale et prescrit, en cas de contravention, une amende de 1 000 $, un emprisonnement de quatre-vingt-dix jours ou l'imposition des deux peines à la fois (art. 14).

Land Surface Conservation and Reclamation Act, R.S.A. 1980, c. L-3.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, donne des pouvoirs étendus de réglementation relativement à la dégradation des terres et, notamment, en ce qui a trait aux mines, aux pipelines, aux dépotoirs et aux décharges contrôlées (art. 23 et 24). Le Ministre peut conclure une entente avec le propriétaire d'un terrain pour en restreindre l'usage (art. 7), déclarer une zone interdite ou exproprier les droits que le propriétaire détient sur les minerais pour empêcher la dégradation qui résulterait d'une exploration ou exploitation minière (art. 10 et 14). On peut exiger d'une personne dont les activités sont de nature à causer des dommages en surface qu'elle soumette une étude des répercussions sur l'environnement de ces activités, plus particulièrement sur la conservation ou la pollution des terres (art. 8). Pour que le Ministre accorde l'autorisation, assortie ou non de conditions, d'entreprendre des activités réglementées de nature à causer des dommages en surface, il faut lui remettre des plans et devis de l'opération (art. 26). Les activités non autorisées peuvent faire l'objet d'ordonnances d'arrêt et de contrôle (art. 9 et 28). La remise en état de terres peut se faire volontairement ou être prescrite par ordonnance. La loi accorde une aide financière à ceux qui projettent de remettre des terres en état (art. 12) en plus d'autoriser l'émission d'ordonnances de remise en état dans les cas de grave dégradation (art. 42–44). Si l'ordonnance de remise en état n'est pas respectée, le travail peut être effectué aux frais du ministère et ces frais devront être remboursés par le contrevenant (art. 46). Si l'ordonnance de remise en état vise un lieu d'exploitation abandonné dont l'exploitant a disparu, ou si la dégradation résulte de causes naturelles, la remise en état peut être payée par le gouvernement (art. 48). Quiconque enfreint la loi ou les règlements est passible d'une amende de 5 000 $ ou d'un emprisonnement de trois mois sur déclaration de culpabilité (art. 18).

Litter Act, R.S.A. 1980, c. L-19.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, interdit de jeter des détritus sur les terrains publics ou privés (art. 2 à 5). Cette loi prescrit des infractions ainsi que des ordonnances de nettoyage pour assurer le respect de ses dispositions (art. 7 et 9). Si la personne visée par l'ordonnance ne s'y soumet pas, les travaux seront faits et leur facture réglée par le contrevenant (art. 11 et 15).

The Oil and Gas Conservation Act, R.S.A. 1980, c. O-5.

Cette loi, dont l'application relève de la Commission de la conservation des ressources énergétiques, est l'équivalent provincial de la Loi sur la production et la conservation du pétrole et du gaz fédérale. Le contrevenant s'expose à des peines diverses, mais peut être passible d'une amende de 1 000 $ sur déclaration de culpabilité (art. 99).

Pipeline Act, R.S.A. 1980, c. P-80.

Cette loi, dont l'application relève de la Commission de la conservation des ressources énergétiques, est l'équivalent provincial de la Loi sur l'Office national de l'énergie fédérale. Les dispositions relatives au nettoyage stipulent que des travaux de remise en état et de ramassage peuvent être effectués, s'il semble qu'ils ne le seront pas autrement, et qu'il sera possible d'en recouvrer le coût (art. 37). Les contrevenants sont passibles d'amendes pouvant atteindre 1 000 $ (art. 53).

Public Lands Act, R.S.A. 1980, c. P-30.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, interdit à quiconque d'accumuler des détritus sans autorisation et d'agir de façon à mettre en danger la propriété ou, dans le cas des terres publiques, à causer l'érosion du sol (art. 51). Le Ministre peut ordonner au responsable de prendre les mesures correctrices, à défaut de quoi il peut les prendre lui-même et en recouvrer le coût. Le contrevenant est passible d'une amende maximum de 1 000 $ à moins qu'une autre peine n'ait été expressément prescrite (art. 56).

Quarries Regulation Act, R.S.A. 1980, c. Q-1.

Cette loi, dont l'application relève de la Commission de la conservation des ressources énergétiques, régit l'exploitation des carrières et comporte, notamment, des dispositions relatives à la prévention des dommages à la propriété qui peuvent en résulter (art. 3). L'exploitation d'une carrière ne peut être faite sans permis et elle est également assujettie à des inspections pour assurer le respect des normes établies (art. 5, 8 et 9). Les contrevenants sont passibles d'une amende de 100 $ pour la première journée de l'infraction et d'une amende de 50 $ par journée d'infraction supplémentaire (art. 14).

Wilderness Area Act, R.S.A. 1980, c. W-8.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Loisirs et des Parcs, interdit à quiconque de déposer des détritus dans des lieux conservés à l'état naturel et d'y causer des dommages ou de les polluer (art. 8 et 10). Le contrevenant s'expose à une amende de 1 000 $ dans le cas d'une première infraction (art. 13).

Colombie-Britannique

Ministry of Environment Act, S.B.C. 1980, c. 30.

Cette loi, qui crée le Ministère, le charge de la gestion, de la protection et de la conservation des terres (art. 4).

Ecological Reserves Act, R.S.B.C. 1979, c. 101.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Terres, des Parcs et de l'Habitation, autorise le Cabinet à établir des réserves sur les terres de la Couronne (art. 2–3) et à faire des règlements relatifs à l'utilisation des terres, y compris le dépôt ou l'émission de toute substance (art. 7).

Environment and Land Use Act, R.S.B.C. 1979, c. 110.

C'est en vertu de cette loi qu'a été mis sur pied le comité de l'environnement et de l'utilisation des terres chargé de faire des recommandations au Cabinet sur des questions de conservation de l'environnement et d'utilisation des terres (art. 3). Le Cabinet, en vertu de son pouvoir de décret et de réglementation concernant l'environnement et l'utilisation des terres (art. 6, 7), a établi des modalités obligatoires d'évaluation des répercussions sur l'environnement pour les projets d'utilisation des terres dans des zones désignées, tel l'estuaire de la vallée du Fraser (règlement C.-B. 202/77).

Environment Management Act, S.B.C. 1981, c. 14.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, prescrit la gestion, la protection et l'amélioration des terres (art. 2). Une évaluation des répercussions sur l'environnement peut être exigée pour un projet donné (art. 3). Lorsque le Ministre déclare qu'une activité est nuisible, il peut émettre des ordonnances de protection de l'environnement pour restreindre cette activité ou y mettre fin (art. 4). Lorsque le Ministre déclare qu'il existe une situation d'urgence, il peut contraindre tout adulte valide à aider à prévenir, atténuer ou enrayer le danger en question, un déversement d'hydrocarbures, par exemple. L'auteur du dommage ayant engendré la situation d'urgence peut être requis de payer les coûts de cette opération (art. 5). La personne qui refuse de faire une évaluation des répercussions sur l'environnement ou qui enfreint l'ordonnance de protection est passible d'une amende de 100 000 $. Si elle donne de faux renseignements au sujet des répercussions sur l'environnement, elle est passible d'une amende de 100 000 $ (art. 14).

Photo 5. Produits de la terre: exploitation forestière en Colombie-Britannique.
NFB-PHOTOTHEQUE-ONF Alan Kalowitz

Land Act, R.S.B.C. 1979, c. 214, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Terres, des Parcs et de l'Habitation, interdit de jeter, sans autorisation, toute substance sur les terres de la Couronne (art. 62). Le contrevenant est passible d'une amende de 300 $, d'un emprisonnement de soixante jours ou des deux peines à la fois (art. 63).

Litter Act, R.S.B.C. 1979, c. 239.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, interdit de jeter des détritus ou de déverser des eaux usées sans autorisation (art. 3 et 4) sur quelque terre que ce soit. Toute infraction à la loi ou aux règlements rend le contrevenant passible d'une amende de 500 $, d'un emprisonnement de six mois ou des deux peines à la fois (art. 6).

Pesticide Control Act, R.S.B.C. 1979, c. 322, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, est l'équivalent provincial de la Loi sur les produits antiparasitaires fédérale. Le contrevenant est passible d'une amende de 2 000 $, d'un emprisonnement de six mois ou des deux peines à la fois (art. 22).

Pollution Control Act, R.S.B.C. 1979, c. 332, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, donne au directeur de la lutte contre la pollution des pouvoirs étendus pour ce qui est de déterminer ce qui constitue une pollution de la terre et d'établir des normes. Il a également le pouvoir d'émettre des ordonnances d'arrêt visant les pollueurs (art. 13). La loi accorde aux inspecteurs le droit d'accès à toute terre dans l'exercice de leurs fonctions (art. 14 et 18). Toute infraction à la loi ou aux règlements rend le contrevenant passible d'une amende de 10 000 $ ou d'un emprisonnement d'un an, ou des deux peines à la fois (art. 25).

River-bank Protection Act, R.S.B.C. 1979, c. 369.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Transports et de la Voirie, habilite le Cabinet à entreprendre les travaux nécessaires pour empêcher toute rivière d'empiéter sur ses rives (art. 11). À la suite de la présentation d'une demande à cet effet par les propriétaires intéressés, les ingénieurs du Ministère peuvent préparer un rapport permettant de déterminer s'il y a lieu d'autoriser l'exécution de travaux (art. 2).

Soil Conservation Act, R.S.B.C. 1979, c. 391.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, interdit l'enlèvement non autorisé de terre de même que le dépôt de matériaux de remblayage dans les zones réservées à l'agriculture (art. 2). Le contrevenant est passible d'une amende de 500 $ par jour d'infraction subséquemment à la déclaration de culpabilité (art. 9).

Manitoba

Clean Environment Act, S.M. 1972, c. 76, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Mines, des Ressources et de l'Environnement, prohibe la contamination du sol au delà de limites prescrites (art. 4). Il est interdit de se livrer à une activité de nature polluante, ou susceptible de l'être, sans l'autorisation de la Commission de l'assainissement de l'environnement qui a le pouvoir d'ordonner la réduction et la cessation de la pollution, ainsi que le nettoyage des dégâts. La Commission peut, lorsque le responsable ne se soumet pas à l'ordonnance, charger un tiers de mettre fin à la pollution et recouvrer le coût des travaux auprès du pollueur. Le Ministre a le pouvoir d'ordonner d'urgence des mesures de nettoyage dans des situations qui exigent une action immédiate (art. 14); il peut également décréter une ordonnance d'arrêt de l'activité polluante (art. 16.1). En outre, le Ministre ou toute personne touchée par la pollution a le droit de demander à la Cour d'émettre une injonction jusqu'à ce que les normes soient respectées (art. 16.2). Ces normes sont généralement établies par la loi ou, expressément, par un règlement du Cabinet (art. 18). La loi donne à des fonctionnaires désignés le pouvoir d'inspecter les lieux (art. 16) et stipule des amendes pouvant atteindre 5 000 $ en cas d'infraction (art. 7). La loi permet également aux municipalités, avec l'autorisation du Commissaire, de contribuer elles-mêmes dans une certaine mesure à la lutte contre la pollution par des programmes de réduction (art. 15.1).

Mining and Metallurgy Compensation Act, R.S.M. 1970, c. M190, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Mines et des Ressources naturelles, permet l'indemnisation des personnes dont la propriété a été endommagée, par exemple, par des poussières ou des détritus provenant de l'exploitation minière, du broyage, des fonderies et du raffinage. Le dommage peut avoir été causé directement ou indirectement, mais il doit avoir eu lieu en dehors de certains districts désignés afin d'être admissible (par. 4(3)). Si le responsable refuse de faire un règlement de gré à gré, la personne lésée peut faire déterminer les indemnités par un arbitre nommé en vertu de la loi (art. 5, 6).

Pesticides and Fertilizers Control Act, S.M. 1976, c. 19.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Agriculture, stipule l'émission de permis, la réglementation et, si le Cabinet l'estime nécessaire, l'interdiction pour ce qui a trait à l'utilisation d'engrais et de pesticides, soit ceux tombant sous le coup de la Loi sur les produits antiparasitaires, fédérale (par. 4(4)). La loi accorde aux inspecteurs le pouvoir de s'assurer que ses dispositions sont suivies et permet la délégation de leurs pouvoirs à des inspecteurs fédéraux (par. 4(1) et (3)). Les contrevenants sont passibles d'une amende de 1 000 $, d'un emprisonnement de six mois ou des deux peines à la fois (art. 7).

Nouveau-Brunswick

Loi sur l'assainissement de l'environnement, L.R.N.-B. 1973, c. C-6, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, accorde au Ministre le pouvoir d'émettre un arrêté d'intervention aux fins de limiter ou d'arrêter la pollution de l'environnement, de modifier la manière de rejeter un polluant, d'installer ou de remplacer du matériel, et de modifier les procédures destinées à réduire ou à supprimer la pollution (art. 5). Lorsque la source de pollution constitue, de l'avis du Ministre, un danger immédiat pour les biens, il peut émettre un arrêté d'arrêt immédiat (art. 6). Des inspecteurs désignés ont le droit d'entrer dans tout lieu et de contrôler tout procédé dans le cadre de leur enquête (art. 23 et 24). Le Cabinet a le pouvoir de désigner par règlement les polluants et les déchets; de fixer des normes relatives aux polluants ou aux déchets; et de prescrire les conditions de délivrance des permis relatifs à ces sources de pollution (art. 32). Il peut également conclure des accords financiers avec des municipalités en vue de contribuer à des projets de lutte contre la pollution (art. 15.1). Les peines imposées varient selon l'infraction, mais nul ne peut être poursuivi sans que le Ministre y ait d'abord consenti (art. 33 et 33.2).

Loi sur les réserves écologiques, L.N.-B. 1975, c. E-1.1.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Ressources naturelles, accorde au Cabinet le pouvoir d'établir des réserves afin de protéger notamment les espaces où se trouvent des spécimens rares ou uniques ayant une valeur géologique ou pédologique (art. 3 et 4). Les activités non autorisées qui risqueraient d'altérer quelque partie du terrain de la zone désignée sont prohibées (art. 6) et constituent une infraction punissable d'une amende de 1 000 $ (art. 14).

Photo 6. Protection des habitats de la faune: aigle à tête blanche.
NFB-PHOTOTHEQUE-ONF Allan Katowitz

Loi sur la voirie, L.R.N.-B. 1973, c. H-5.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de la Voirie, permet au Ministre de désigner des dépotoirs de voitures (art. 60). La loi interdit de rendre un terrain inesthétique par le dépôt de voitures de rebut, sauf si celui-ci est fait dans un dépotoir provincial en conformité avec la loi (art. 61). Les contrevenants, sur déclaration de culpabilité, sont passibles d'une amende de 200 $ et peuvent être contraints, par ordonnance, à nettoyer le terrain (art. 62).

Loi sur le contrôle des pesticides, L.R.N.-B. 1973, c. P-8.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Agriculture et du Développement rural, est l'équivalent provincial de la Loi sur les produits antiparasitaires fédérale, à laquelle elle fait référence. Le contrevenant est passible d'une amende de 1 000 $, d'un emprisonnement de cent jours ou des deux peines à la fois (art. 30).

Loi sur l'exploitation des carrières, L.R.N.-B. 1973, c. Q-1.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Ressources naturelles, prohibe l'enlèvement non autorisé de matériaux de carrière des zones riveraines désignées ou des terres de la Couronne (art. 6). Le Cabinet a le droit d'établir des règlements relatifs à l'exploitation des carrières et de prescrire les modalités d'extraction des matériaux qui s'y trouvent (art. 20). Les permis délivrés par le Ministre peuvent également être assortis de conditions (art. 9). Le contrevenant à la loi ou à ses règlements est passible d'une amende de 100 $ dans le cas d'une première infraction (art. 18).

Loi sur les lieux inesthétiques, L.R.N.-B. 1973, c. U-2, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Pêches et de l'Environnement, interdit l'accumulation de rebuts sur une terre à moins de 500 pieds de la limite des voies publiques (art. 3). La loi permet aux inspecteurs désignés d'aller sur les lieux pour déterminer s'il y a eu infraction, auquel cas les peines varient selon la nature de l'infraction (art. 6 et 11-15).

Terre-Neuve

Department of Consumer Affairs and Environment Act, S.N. 1973, no 39, modifiée.

Cette loi, qui crée le ministère, rend le Ministre responsable du maintien et de l'amélioration de la qualité du sol (sous-al.7a(i)). Le Cabinet peut établir des règlements concernant la nature des polluants et les maximums admissibles, le déversement des eaux usées sur et dans le sol, les permis de déversement et les conditions auxquelles on les accorde, et l'émission d'ordonnances de prévention ou de correction (par. 34(1)). Un pouvoir d'inspection est donné aux responsables de l'application de la loi (art. 35). Les peines imposées varient selon le type d'infraction, mais aucune poursuite ne peut être intentée sans l'autorisation écrite du Ministre (art. 50 et 51).

Pesticides Control Act, R.S.N. 1970, c. 292, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de la Consommation et de l'Environnement, est l'équivalent provincial de la Loi sur les produits antiparasitaires fédérale. Le contrevenant est passible d'une amende de 2 000 $ par jour sur déclaration de culpabilité (art. 21).

Quarry Materials Act, S.N. 1975-76, no 45, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Mines et de l'Énergie, est l'équivalent de la Loi sur l'exploitation des carrières du Nouveau-Brunswick. Le contrevenant est passible, sur déclaration de culpabilité, d'une amende de 1 000 $, d'un emprisonnement de six mois ou des deux peines à la fois (par. 4(2)).

Waste Material (Disposal) Act, S.N. 1973, no 82, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de la Consommation et de l'Environnement, permet au Ministre de désigner des zones comme décharges et de conclure des ententes pour leur exploitation (art. 8 et 9). Le fait d'éliminer des déchets sans autorisation sur un terrain constitue une infraction. Quiconque enfreint la loi ou les règlements est passible d'une amende de 2 000 $ par jour sur déclaration de culpabilité (art. 19, 23 et 25).

Waters Protection Act, R.S.N. 1970, c. 394, modifiée.

En vertu de cette loi, dont l'application relève du ministère de la Consommation et de l'Environnement, l'installation d'un système d'élimi-

nation des eaux usées dans une zone où il y a risque de pollution d'une source d'eau publique constitue une infraction (art. 6). Les peines varient selon la durée de l'infraction (art. 8).

Territoires du Nord-Ouest

Environmental Protection Ordinance, R.O.N.W.T. 1974, c. E-3.

Cette ordonnance habilite un responsable de la protection de l'environnement à appliquer ses dispositions. Il peut émettre une ordonnance de protection prescrivant la mise en place de matériel ou de mesures de protection destinées à prévenir ou à réduire la pollution, des ordonnances d'arrêt, et des ordonnances de remise en état (art. 5, 7 et 8). Les frais causés par les mesures correctrices sont à la charge du pollueur. Le responsable de la protection de l'environnement peut désigner des inspecteurs qui ont le pouvoir de faire enquête (art. 17). Le commissaire du territoire peut établir des règlements fixant des normes, ainsi que les conditions d'émission des ordonnances de protection (art. 18). La pollution de l'environnement de même que le défaut de se conformer à une ordonnance constituent des infractions qui, selon leur nature, entraînent l'imposition de peines variables (art. 12 et 13), mais aucune poursuite ne peut être intentée sans le consentement du directeur des services publics (art. 15).

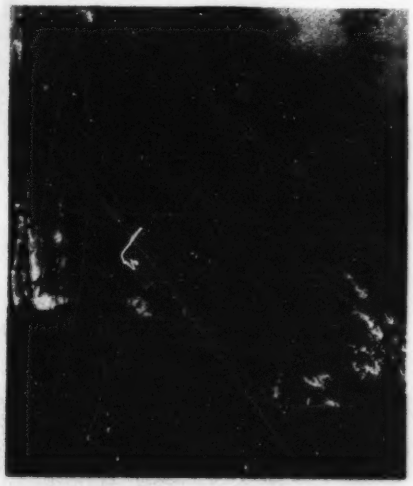


Photo 7. Terres ravagées par des incendies de forêts dans les T.N.-O.
MFB-PHOTOTHEQUE-ONF Mike Van Duffelen

Pesticide Ordinance, R.O.N.W.T. 1974, c. P-4.

Cette ordonnance, ainsi que les règlements établis par le Commissaire, régissent l'utilisation et l'élimination des pesticides. Quiconque enfreint l'ordonnance ou les règlements est passible d'une amende de 1 000 $, d'un emprisonnement de quatre-vingt-dix jours ou des deux peines à la fois, sur déclaration de culpabilité (art. 11).

Nouvelle-Écosse

Beaches Preservation and Protection Act, S.N.S. 1975, c. 6.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Terres et Forêts, interdit l'enlèvement non autorisé de sable, de gravier, de pierres, ou d'autres matériaux des plages en bordure de la mer ou des lacs (art. 6). Le contrevenant est passible d'une amende de 1 000 $, mais aucune poursuite ne peut être intentée sans le consentement du Ministre (art. 8 et 13).

Environmental Protection Act, S.N.S. 1973, c. 6, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, rend le Ministre responsable de l'établissement de normes, de la tenue d'enquêtes, de la réglementation et de la lutte contre la pollution, notamment par la surveillance des sources de pollution et de l'élimination des déchets. En outre, il doit promouvoir la remise en état des zones polluées (par. 8(1)). Les inspecteurs désignés ont le droit d'entrer et d'examiner les lieux pour s'assurer que les dispositions de la loi sont respectées (art. 42 et 43). Avant qu'un projet présentant un risque de pollution ne soit entrepris, le Ministre doit en approuver les plans et devis, et il peut exiger qu'on y apporte des modifications (art. 28 et 29). Nul ne peut se livrer à une activité polluante sans obtenir un permis, lequel peut être assorti de conditions (art. 23). Le Ministre peut ordonner à quiconque de cesser d'enfreindre les normes de protection de l'environnement, de réduire ou d'arrêter complètement la pollution, d'utiliser du matériel antipollution efficace ou de mettre fin à ses activités (art. 26). Il peut ordonner que l'on prenne des mesures correctrices, dont les frais seront payés par le pollueur si un tiers se charge de leur réalisation (art. 34 et 54). Le contrevenant est passible d'une amende de 5 000 $ dans le cas d'une première infraction (art. 48).

Marshlands Reclamation Act, R.S.N.S. 1967, c. 177.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Agriculture et de la Commercialisation permet au Ministre de conclure des ententes en vue de protéger ou de conserver les terrains marécageux (art. 2). Le contrevenant est passible d'une amende de 50 $ (art. 60).

Salvage Yards Licensing Act, R.S.N.S. 1967, c. 276, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du Bureau des Commissaires, rend obligatoire l'obtention d'un permis pour l'exploitation des parcs de ferraille (art. 2 et 3). Le contrevenant est passible d'une amende de 500 $ et peut faire l'objet d'une ordonnance d'enlèvement (art. 13).

Smelting and Refining Encouragement Act, R.S.N.S. 1967, c. 283.

Cette loi prohibe toute demande d'injonction dans le but de mettre un terme aux activités de broyage, de fonderie, de raffinage ou d'exploitation minière auxquelles ses dispositions s'appliquent, même si la pollution du sol se poursuit. Une indemnisation peut cependant être réclamée (art. 4 et 5).

Ontario

The Beach Protection Act, R.S.O. 1980, c. 39.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Ressources naturelles, prohibe l'enlèvement non autorisé de sable des rives ou des plages des lacs, des rivières ou des autres cours d'eau (art. 5). Le contrevenant s'expose à une amende de 1 000 $, mais aucune poursuite ne peut être intentée sans le consentement du procureur général (art. 12).

Conservation Authorities Act, R.S.O. 1980, c. 85.

Cette loi, dont l'application relève du Ministère des Ressources naturelles, permet au Cabinet de mettre sur pied, à la demande d'un conseil municipal, une régie de protection de la nature pour un secteur donné (art. 3). La régie peut prendre les mesures nécessaires pour assurer la conservation, la remise en état et la gestion des ressources naturelles du secteur (art. 20 et 21), notamment par la réglementation des dépôts de matériaux de remblayage. Quiconque enfreint la loi ou les règlements est passible d'une amende de 1 000 $ ou d'un emprisonnement de trois mois sur déclaration de culpabilité (art. 28).

Environmental Assessment Act, R.S.O. 1980, c. 140.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, oblige toute personne non exemptée qui se propose d'entreprendre une activité commerciale d'envergure à mener une étude des répercussions sur l'environnement et à obtenir l'autorisation du Ministre avant le début des travaux (art. 5). Aucun permis n'est accordé tant que le projet n'a pas reçu l'autori-

sation nécessaire, qui peut être assortie de conditions (art. 6 et 14). Des fonctionnaires provinciaux désignés, à qui la loi accorde le droit d'entrer dans les lieux, de les examiner et d'enquêter, sont chargés de veiller à ce que l'environnement (dont la définition inclut le terrain et le sous-sol) soit protégé, conservé et bien géré (art. 1, 2, 24 et 25). Le fait de donner sciemment de faux renseignements, lorsque la loi oblige à fournir des renseignements, constitue l'une des infractions pour lesquelles le contrevenant est passible d'une amende de 5 000 $ dans le cas d'une première condamnation (art. 35 et 39).

Environmental Protection Act, R.S.O. 1980, c. 141, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, vise à assurer la protection et la conservation des terres, ce qui inclut la surface et le sous-sol (art. 2). La loi interdit d'une manière générale la pollution de l'environnement. Le pollueur peut être assujetti à des ordonnances de réduction, d'arrêt ou de remise en état (art. 5-7, 13, 16, 113–119). Le directeur peut ordonner à quiconque d'installer du matériel antipollution (art. 17) et doit donner son approbation, assortie ou non de conditions, à la mise en place ou à la modification de toute méthode ou tout dispositif de prévention ou de lutte contre la pollution avant qu'un projet ne puisse être mis à exécution (art. 8). Plus particulièrement, le directeur doit approuver d'avance les emplacements d'élimination des déchets et les réseaux d'égout (art. 27 et 64). Le dépôt de déchets est interdit sur tout terrain qui n'a pas été désigné comme décharge (art. 39 et 40). Les dépôts non autorisés peuvent faire l'objet d'une ordonnance d'enlèvement et de remise en état du terrain. Si cette ordonnance n'est pas respectée, les travaux peuvent être effectués par un tiers et les frais recouvrés auprès du contrevenant (art. 41 et 43).

Le Ministre est investi de pouvoirs généraux étendus lui permettant d'assurer le respect des obligations relatives à l'environnement, et d'exempter une personne de l'application de la loi (art. 143 et 144). La loi interdit de déposer des détritus et de donner de faux renseignements (art. 75 et 145). Le dépôt de détritus est l'une des infractions faisant l'objet d'une peine distincte. Pour les infractions tombant dans la catégorie générale de peines, le contrevenant est passible d'une amende de 5 000 $ sur déclaration de culpabilité dans le cas d'une première infraction (art. 146).

Mining Act, R.S.O. 1980, c. 268.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Ressources naturelles, stipule notamment que les zones de résidus miniers non utilisées soient stabilisées en faisant appel à des méthodes telles que la plantation de végétation et son entretien (art. 161).

The Pesticides Act, R.S.O. 1980, c. 36, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, est l'équivalent provincial de la Loi sur les produits antiparasitaires fédérale, à laquelle elle fait référence. Le contrevenant est passible d'une amende de 5 000 $ par jour dans le cas d'une première infraction (art. 34).

The Pits and Quarries Control Act, R.S.O. 1980, c. 378.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Ressources naturelles, prohibe l'exploitation non autorisée d'une sablière ou d'une carrière dans des zones désignées. Un plan d'aménagement doit être présenté à l'appui de la demande de permis pour obtenir l'approbation, assortie ou non de conditions (art. 4). Le contrevenant est passible d'une amende de 5 000 $ par jour, mais aucune poursuite ne peut être intentée sans le consentement du Ministre (art. 18).

Wilderness Areas Act, R.S.O. 1980, c. 533.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Ressources naturelles, permet au Cabinet d'établir des règlements pour assurer l'entretien et la conservation de zones à l'état naturel désignées et afin de prohiber, restreindre ou surveiller l'utilisation des terres qui s'y trouvent (art. 7). Les contrevenants sont passibles d'une amende de 500 $ sur déclaration de culpabilité (art. 8).

Île-du-Prince-Édouard

Agricultural Chemicals Act, R.S.P.E.I. 1974. c. A-4.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Agriculture et des Forêts, est l'équivalent provincial de la Loi sur les produits antiparasitaires fédérale, à laquelle elle fait référence. Le contrevenant est passible d'une amende de 1 000 $, d'un emprisonnement de quatre-vingt dix jours ou des deux peines à la fois (art. 22).

Environmental Protection Act, S.P.E.I. 1975, c. 9, modifiée.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, prohibe la pollution ou l'altération non autorisée de la qualité de la terre (art. 9). Le Ministre a le pouvoir d'enquêter sur toute cause de pollution et a notamment le droit d'accès et d'examen sur toute terre (art. 5, 6 et 8). Il peut imposer des mesures correctrices relativement à toute cause réelle ou potentielle de pollution et en recouvrer les frais auprès du responsable (art. 7). Quiconque enfreint la loi ou les normes édictées par règlement du Cabinet est passible d'une amende de 5 000 $ sur déclaration de culpabilité (art. 22 et 23).

Photo 8. Mine à ciel ouvert à Timmins.
NFB–PHOTOTHEQUE–ONF George Hunter

Québec

Loi sur les réserves écologiques, L.R.Q. 1977, c. R-26.

Cette loi, dont l'application relève du ministère des Terres et Forêts, habilite le Cabinet à constituer des réserves écologiques (art. 2) et à établir des normes par règlement (art. 9). Les travaux de nature à modifier le terrain de la réserve sont prohibés, l'amende prévue étant de 300 $ dans le cas d'une première infraction (art. 6 et 12). Les poursuites sont intentées par le procureur général ou par une personne qu'il autorise par écrit à cette fin (art. 14).

Loi sur la qualité de l'environnement, L.R.Q. 1977, c. Q-2.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, rend le Ministre responsable de la préservation et de l'assainissement de l'environnement, y compris du sol (art. 2). Nul ne peut contaminer l'environnement au delà des normes fixées par règlement ou au point de porter préjudice à la qualité du sol (art. 20). Avant d'entreprendre l'exercice d'une activité susceptible de polluer l'environnement, l'intéressé doit présenter une demande d'autorisation au directeur des services de protection de l'environnement, en y joignant les plans, les devis, les évaluations et, dans certains cas précis, un plan de réaménagement du terrain. Avant de donner son approbation, le directeur peut exiger des

modifications et imposer des conditions (art. 22–24). Dans les cas prévus par règlement du Cabinet, nul ne peut entreprendre des travaux sans suivre la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et obtenir l'autorisation du Cabinet, qui peut assujettir l'obtention du certificat d'autorisation aux modifications et aux conditions qu'il détermine (art. 31*a* et 31*e*). Certaines activités sont soumises à la surveillance du directeur comme, par exemple, l'établissement d'un système de gestion des déchets (art. 54), ou du Ministre comme, par exemple, les sources de rayonnement (art. 90). De plus, un régime spécial a été instauré afin de lutter contre la pollution dans la région de la Baie James et du Nord québecois (art. 166–248). Ce régime prévoit la création de comités et de commissions d'évaluation et d'examen, qui ont pour tâche d'étudier les projets proposés et de faire des recommandations au directeur. Certains projets comme les mines, les sablières et les carrières et les systèmes d'élimination des déchets (annexe A) doivent nécessairement faire l'objet d'études d'impact sur l'environnement (art. 188 et 223), tandis que d'autres, qui ne sont pas exemptés (au titre de l'annexe B), peuvent également être assujettis à la procédure (art. 192–194, 227 et 228).

De façon générale, en vertu de la loi, le Ministre peut exiger la divulgation d'informations et exercer des pouvoirs d'enquête, de saisie et d'examen des lieux (art. 119, 120 et 123). Le directeur peut donner ordre d'installer des appareils visant à réduire ou à éliminer la pollution, ordonner de cesser de polluer et, dans le cas d'une carrière ou d'une sablière, exiger que soit établi un plan de réaménagement du terrain (art. 25–27). Le Ministre est habilité à ordonner les mesures correctrices nécessaires et à recouvrer le coût auprès du responsable, si ce dernier ne se soumet pas à l'ordonnance ou s'il est condamné pour infraction à la loi (art. 113–115). Quiconque enfreint la loi, les règlements ou une ordonnance est non seulement passible des diverses amendes prévues, mais également d'une injonction que peut demander un résident ou une municipalité de la région contaminée, parce que la loi reconnaît à chacun le droit à la protection de l'environnement (art. 19 et 106–109).

Saskatchewan

Department of the Environment Act, R.S.S. 1978, c. D-14.

Cette loi, qui crée le ministère chargé de son application, autorise le Cabinet à établir des règlements sur l'élimination des déchets et sur les obligations, quant à la conservation et à la remise en état du sol, des personnes dont les activités sont de nature à détruire ou à modifier le sol en surface (art. 13). Le Ministre a le droit d'accéder à toute terre pour exercer ses pouvoirs d'inspection et d'enquête (art. 15). Le Ministre peut émettre une ordonnance d'arrêt pour mettre fin à une activité polluante et peut faire intervenir les tribunaux pour en assurer le respect, si le pollueur refuse de s'y conformer (art. 12). Quiconque contrevient aux règlements commet une infraction punissable par une peine qui varie selon le type de pollution et la durée de l'activité qui en est la source (art. 14).

Litter Control Act, R.S.S. 1978, c. L-22.

Cette loi, dont l'application relève du ministère de l'Environnement, interdit le dépôt de déchets sur les terres privées, c'est-à-dire qui appartiennent à un tiers, et sur celles de la Couronne, sauf s'il s'agit d'une décharge autorisée (art. 3). Que des poursuites aient ou non été intentées par suite de l'infraction, le procureur général peut demander au tribunal d'émettre une injonction contre le pollueur (art. 17). Sur déclaration de culpabilité, le contrevenant peut être contraint d'enlever les déchets et peut devoir payer, en outre, une amende (art. 4).

Mining, Smelting and Refining District Act, R.S.S. 1978, c. M-19.

Cette loi est l'équivalent de la Mining and Metallurgy Compensation Act du Manitoba.

The Pest Control Products (Saskatchewan) Act, R.S.S. 1978, c. P-18.

Cette loi est l'équivalent provincial de la Loi sur les produits antiparasitaires fédérale. Sur déclaration de culpabilité, le contrevenant est passible d'une amende de 1 000 $, d'un emprisonnement de quatre-vingt dix jours ou des deux peines à la fois (art. 25).

Territoire du Yukon

Area Development Ordinance, R.O.Y.T. 1971, c. A-4.

Cette ordonnance permet au Commissaire du territoire de désigner une zone d'aménagement et d'établir des règlements relatifs au zonage, à la concession des parcelles de terrain et à l'élimination des déchets et des eaux usées (art. 3 et 4). En cas d'infraction, des mesures correctrices peuvent être prises et le coût imputé, par la suite, au responsable qui est également passible d'une amende de 200 $ sur déclaration de culpabilité (art. 6).

Lands Ordinance, R.O.Y.T. 1971, c. L-3.

Cette ordonnance s'applique aux terres de la Couronne qui relèvent du Commissaire du territoire. Celui-ci peut contraindre tout usager non autorisé à cesser son exploitation (par exemple: d'une carrière), et à remettre le terrain dans un état satisfaisant (art. 3 et 26). Le Commissaire a le pouvoir de saisir la machinerie, le matériel, les matériaux et les effets laissés par l'usager sur le terrain (art. 28). Quiconque enfreint une ordonnance d'arrêt est passible d'une amende de 250 $, d'un emprisonnement de trois mois ou des deux peines à la fois (art. 29).

Sommaire

Il existe d'autres lois, relatives à des questions communes à la plupart des provinces et des territoires, qui traitent des terres de façon moins directe, habituellement dans le cadre d'un plan d'ensemble. Ainsi, les lois sur la santé publique habilitent les fonctionnaires de la santé à exercer une surveillance sur les décharges et les réseaux d'égout. Les lois sur les ressources minières et pétrolières régissent la prospection, l'exploitation et l'abandon des terrains et les exigences relatives à l'obtention des permis. Les lois sur les municipalités accordent à ces dernières le pouvoir de réglementer certaines questions à l'intérieur de leurs frontières, par voie de règlement, par exemple sur le zonage des décharges et des dépotoirs. Les lois sur l'aménagement du territoire, même si elles s'occupent surtout des zones urbaines, exigent que l'on se conforme à des plans officiels. Les lois sur les parcs restreignent l'usage que l'on peut faire de terres se trouvant en deçà des limites d'un parc, comme par exemple l'aménagement de terrains de camping ou l'enfouissement des déchets. La liste qui précède ne se prétend pas exhaustive. Il serait possible de cerner encore davantage l'influence du pouvoir législatif sur la protection des terres en tenant compte de tous les textes réglementaires, décrets et ordonnances, et de tous les énoncés de politique et de lignes directrices des ministères.

LE DROIT CRIMINEL

Il peut être utile, pour protéger l'environnement, de se prévaloir du Code criminel[32] lorsque l'accusé contrevient avec régularité à d'autres lois qui ne stipulent que des amendes. Si une personne peut être prête à déduire de ses profits les amendes nominales qui lui sont imposées, les considérant comme des dépenses inévitables pour pouvoir poursuivre les activités (et qui sont souvent moins coûteuses que l'installation de matériel anti-pollution), une poursuite et une éventuelle condamnation pour une infraction criminelle peuvent exercer sur elle davantage d'influence en raison de leurs incidences psychologiques et sociales. Dans les circonstances appropriées, le Code peut être un moyen efficace d'assurer le respect des normes et des politiques de l'environnement.

Il faut bien souligner, toutefois, que comme le Code criminel ne vise pas spécifiquement la protection de l'environnement et qu'il existe d'autres lois, fédérales et provinciales, de cette nature, les tribunaux peuvent être moins enclins à appliquer le Code aux dommages à l'environnement. Mais il peut en être autrement lorsque le contrevenant a un comportement suffisamment antisocial pour être qualifié de criminel, s'il persiste, par exemple, à causer des dommages ou à agir au mépris des conséquences de ses actes. S'il est vrai que les cours criminelles sont plus accessibles et plus expéditives que leur contrepartie au civil, il ne faut pas pour autant les utiliser abusivement pour régler des litiges d'ordre privé d'intérêt mineur. Elles sont le lieu désigné pour le règlement des litiges mettant en jeu les valeurs sociales. Pour les litiges plus personnels, l'action civile convient le plus souvent puisque, rappelons-le, le Code n'a pas à l'origine été conçu dans un but d'indemnisation, même si une cour criminelle peut assortir la probation ou la non-imposition d'une peine de l'obligation de remettre un bien en état.

Compte tenu de ces réserves, les dispositions suivantes du Code peuvent s'appliquer à certains actes préjudiciables à l'environnement.

Engagement — Si le juge de paix devant lequel les parties comparaissent estime que le demandeur a des motifs raisonnables de craindre qu'une autre personne n'endommage sa propriété, il peut ordonner que le défendeur contracte un engagement, c'est-à-dire signe une promesse écrite de ne pas troubler l'ordre public ni d'ennuyer le demandeur pour une période d'au plus douze mois. Par ailleurs, le juge de paix peut faire emprisonner le défendeur pour la même durée, s'il refuse de contracter ou de respecter l'engagement (art. 745).

Substances volatiles — Quiconque autre qu'un agent de la paix occupé à l'exercice de ses fonctions dépose, jette ou lance, ou fait déposer, jeter ou lancer dans, sur ou près d'un endroit quelconque une substance volatile malfaisante, susceptible de causer des dommages à des biens, est coupable d'une infraction punissable sur déclaration sommaire de culpabilité et passible d'une amende de 500 $, d'un emprisonnement de six mois ou des deux peines à la fois (art. 174 et 722).

Nuisance publique — Quiconque, en accomplissant un acte illégal ou en omettant d'accomplir une obligation légale, met en danger la propriété ou nuit à l'exercice ou à la jouissance d'un droit commun et, de ce fait, met en danger le public en général, ou cause préjudice à quelqu'un en particulier, est coupable d'une infraction punissable par deux ans d'emprisonnement (art. 176).

Méfait — Commet un méfait, quiconque volontairement accomplit un acte ou omet de s'acquitter d'un devoir et, de ce fait, détruit ou détériore un bien, le rend dangereux, inutile, inopérant ou inefficace, ou en empêche, interrompt ou gêne l'emploi, la jouissance ou l'exploitation légitime. Les peines dont il est passible varient selon le type de propriété (biens publics ou privés), mais si la vie des gens est menacée, il est passible de l'emprisonnement à perpétuité (art. 387).

Négligence criminelle — Est coupable de négligence criminelle quiconque, en faisant quelque chose, ou en omettant de faire quelque chose qu'il est de son devoir d'accomplir, montre une insouciance déréglée ou téméraire à l'égard de la vie ou de la sécurité d'autrui. S'il cause des lésions corporelles à quelqu'un ou sa mort, il est passible d'un emprisonnement de dix ans dans le premier cas et de l'emprisonnement à perpétuité dans l'autre (art. 202–204).

Qu'une obligation légale découle d'un texte de loi ou de la common law, il faut d'abord en faire la preuve avant que le tribunal ne puisse déterminer si l'accusé s'est comporté de façon répréhensible à un degré tel qu'il faille le condamner, par exemple s'il a manifesté une insouciance déréglée ou téméraire dans le cas de la négligence criminelle. Certaines peines édictées par le Code peuvent paraître très sévères, mais il importe de comprendre que pour prouver la plupart des infractions, il faut démontrer que l'auteur de l'acte dommageable avait l'intention de commettre un crime ou qu'il a agi sans se soucier du préjudice qui résulterait vraisemblablement de ses actes ou omissions. En conséquence, si l'infraction elle-même ne peut être prouvée, aucune accusation de tentative (art. 24), de complot (art. 423) ou d'avoir conseillé (art. 422) de commettre une infraction ne peut être portée parce qu'il faudrait dans ce cas également prouver au préalable l'intention de faute.

L'instance criminelle commande un degré de preuve plus élevé que l'instance civile, c'est-à-dire qu'il faut prouver au delà de tout doute raisonnable, mais une condamnation ne signifie pas nécessairement qu'il y aura réparation du dommage subi. Par ailleurs, comme les prescriptions du Code sont destinées à préserver les valeurs sociales, toute personne, et non pas seulement la victime, peut en demander l'application. Certaines objections peuvent cependant être soulevées tant dans les litiges fondés sur une loi que dans ceux qui reposent sur la common law. Ces objections ont essentiellement trait à la bonne ou à la mauvaise foi de la personne qui intente la poursuite. Si le tribunal estime que l'action constitue un abus de procédure ou qu'elle est frivole et vexatoire, il peut rejeter la cause sans jamais se prononcer sur la faute ni sur la reponsabilité à l'égard des dommages causés à l'environnement.

LES POURSUITES PRIVÉES

Il n'est pas nécessaire d'attendre que le gouvernement intente des poursuites contre l'auteur d'actes dommageables à l'environnement; dans certains cas, le simple citoyen peut en prendre l'initiative[33]. Le droit de poursuivre n'est limité que lorsque le texte législatif qui crée l'infraction le stipule: lorsque des autorités administratives doivent d'abord exercer leur pouvoir discrétionnaire, lorsqu'un organisme désigné est seul habilité à poursuivre, lorsqu'il faut obtenir la permission du procureur général ou lorsque les poursuites privées sont expressément interdites. Les poursuites privées se révèlent utiles, particulièrement lorsque les autorités gouvernementales sont dans l'impossibilité d'agir ou refusent de le faire, quel que soit leur motif, pour faire respecter la loi qu'elles administrent.

La manière habituelle de vérifier s'il y a eu infraction à un texte législatif consiste à intenter des poursuites sommaires. Toutes les provinces ont adopté, pour faire appliquer leurs lois stipulant des infractions, leurs propres lois sur les poursuites sommaires ou les délits de compétence provinciale, lesquelles s'inspirent grandement du Code criminel. Quiconque a «des motifs raisonnables et probables»[34] de croire qu'une infraction a été commise, même s'il n'en n'a pas été lui-même témoin ni lésé, peut faire une dénonciation, c'est-à-dire porter une accusation. Pour ce faire, le dénonciateur se présente à un juge de paix (ou à un magistrat ou au greffier de la cour, selon le ressort duquel relève l'infraction), de préférence dans le district judiciaire le plus proche de l'endroit où a été commise l'infraction, et atteste sous serment et par écrit la véracité de l'accusation. En des termes précis, il déclare qu'une entreprise ou une personne nommément désignée (l'accusé) a commis certains actes en contravention d'un ou de plusieurs articles d'une loi donnée, à une ou des dates précises et à un endroit précis. Il est souvent préférable de reprendre la formulation même des articles visés. Le juge de paix peut alors, à son gré, citer l'accusé à comparaître en cour à un moment précis pour répondre de l'accusation. Dans ce cas, la citation est normalement signifiée à l'accusé par un agent de la paix ou un shérif.

Au procès, le dénonciateur peut se charger lui-même de la poursuite ou se faire représenter (habituellement par un avocat dont il a retenu les services). En tout temps au cours des procédures, le procureur général peut cependant intervenir pour suspendre la poursuite ou pour se substituer au poursuivant. Dans le cas d'un acte criminel (le seul qui puisse toucher l'environnement étant la nuisance publique aux termes du Code criminel), le procureur général adopte habituellement comme politique de prendre part aux procédures.

Les poursuites privées peuvent comporter deux désavantages, le premier, et non le moindre, étant le risque de devoir payer les dépens de la cause. Même si certains frais peuvent être recouvrés[35] dans les poursuites sommaires, il s'agit de sommes minimales. Inversement, le poursuivant ne peut être requis de payer des frais supplémentaires que s'il est débouté, et il en est bien sûr entièrement dispensé s'il a gain de cause[36].

L'autre désavantage n'est pas de nature à préoccuper la personne qui poursuit de bonne foi. Mais quiconque prend l'initiative d'intenter des poursuites par malveillance, sans avoir de motif raisonnable et probable de croire qu'une infraction a été commise, risque de se retrouver lui-même défendeur dans un procès au civil pour «poursuite abusive».

LES RECOURS CIVILS

Le droit écrit a pour objectif général d'énoncer et de permettre d'appliquer des normes de vie en société. Lorsqu'il y a violation d'une loi, le contrevenant est habituellement condamné à l'incarcération ou mis à l'amende, laquelle est presque toujours[37] versée à la Couronne. Mais les dispositions juridiques ne remédient que dans une très faible mesure à l'atteinte que subit une personne dans ses droits ou dans ses intérêts comme individu plutôt que comme membre de la société. Ces droits civils ou privés, opposables à l'auteur d'un acte dommageable, sont garantis par la common law (ou par le Code civil au Québec). Il est bien entendu possible qu'un acte ait à la fois des conséquences sur les plans légal et civil.

La common law donne ouverture à certains recours qui sont, selon le cas:

L'action en dommages-intérêts:	—pour recouvrer des sommes d'argent;
Le jugement déclaratoire:	—pour obtenir une déclaration judiciaire de droits;
L'injonction:	—en vue d'interdire des actes précis par ordonnance judiciaire temporaire ou permanente;
Le mandamus (ordonnance de la cour):	—afin d'obtenir une ordonnance judiciaire en vertu de laquelle une obligation légale d'ordre public doit être accomplie; on peut rarement se prévaloir de ce recours parce que la plupart des lois rendent le pouvoir d'agir purement discrétionnaire.

La common law crée essentiellement cinq types de droits relatifs à la terre auxquels les recours susmentionnés peuvent s'appliquer: la nuisance, l'entrée abusive, les droits de riverain, la négligence et la responsabilité stricte.

Nuisance — La common law distingue deux types de nuisance: publique et privée. Il s'agit dans les deux cas d'atteinte aux droits de propriété, en l'occurrence le droit d'utiliser et de jouir d'une propriété foncière (bien-fonds)[38], ou d'un droit y afférent (comme le droit du locataire). La loi tolère une certaine atteinte, mais lorsqu'il s'agit d'atteintes abusives, c'est-à-dire suffisamment particulières, directes et importantes, les tribunaux peuvent intervenir.

La nuisance est publique lorsqu'elle est répandue, en ce sens qu'elle affecte les membres de la collectivité comme groupe, tous plus ou moins de la même façon, quoique à des degrés divers. Dans de telles circonstances, c'est la collectivité qui subit le préjudice et la poursuite doit être intentée par le procureur général, lequel agit au nom de la population en général, ou avec sa permission; le recours est habituellement l'injonction. Mais une personne qui veut obtenir réparation peut intenter des poursuites distinctes pour un dommage que lui seul aurait subi: une atteinte particulière à ses droits individuels[39].

Dans une affaire ancienne, peu commune en ce qu'elle traitait de dommage à la propriété *per se*, la propriété résidentielle du demandeur avait été dépréciée par pollution à l'arsenic. Le tribunal a émis contre la raffinerie une injonction et l'a condamnée à verser une indemnisation malgré qu'elle eût fait valoir que tous les voisins du demandeur avaient subi le même préjudice. Le tribunal a statué que chaque propriétaire foncier a des droits de deux ordres: ceux qui lui sont reconnus comme membre de la collectivité et ceux qui lui donnent droit à une indemnisation à titre de propriétaire de bien-fonds ayant subi un dommage particulier.[40] Le tribunal a sans doute fondé sa décision sur la distinction selon laquelle un dommage physique à des bien-fonds constitue un dommage «particulier».

La nuisance est privée si elle affecte les droits d'une personne en particulier[41]. Le plus souvent, il s'agit d'un acte qui a des conséquences sur le bien-fonds du demandeur seulement. Pour que le tribunal puisse conclure qu'il y a eu nuisance, il n'est pas nécessaire de prouver un dommage physique à la propriété; tout au plus suffit-il d'établir qu'il y a eu perte d'usage ou de jouissance. En conséquence, si la plainte porte que des particules de matières se sont déposées sur le terrain, le droit d'ester en justice prend naissance à partir du moment où la propriété a été recouverte de façon déraisonnable. Il n'est même pas nécessaire que la nuisance provienne d'un bien-fonds voisin; l'auteur en est responsable, qu'il soit propriétaire ou non. Ainsi, une entreprise d'épandage par avion a été tenue responsable d'avoir laissé des produits chimiques tomber sur le mauvais terrain[42].

Certains moyens de défense demeurent inopérants dans une action pour nuisance: ainsi, il ne sert à rien de plaider que le demandeur a acquis son droit de propriété après que la nuisance se soit manifestée; que l'acte ou l'opération causant la nuisance a été bénéfique à la population en général; que tout le soin et toute la compétence possibles ont été mis en oeuvre pour éviter la nuisance; que c'était le seul endroit où l'opération pouvait avoir lieu; que la nuisance résulte d'une série d'actes indépendants qui ne pouvaient en être la cause individuellement; ou que même si l'opération a engendré une nuisance, elle constituait un usage raisonnable de la propriété où elle a été effectuée[43].

Il y a, cependant, deux moyens de défense qui sont acceptés: que la nuisance a persisté au su du demandeur pendant au moins vingt ans, c'est-à-dire le délai de prescription; ou que le défendeur a agi sous l'autorité de la loi. Mais ce dernier moyen n'a d'effet que lorsque la disposition habilitante, qu'elle soit tirée d'une loi, d'un règlement, d'un permis ou de tout autre acte ayant force de loi, stipule spécifiquement que l'opération doit se dérouler de la manière dont se plaint précisément le demandeur ou exempte le défendeur des conséquences de l'opération. Pour que ce mode de défense soit admis, il faut établir que la nuisance était inévitable, sinon les droits privés doivent être protégés[44].

Entrée abusive — La nuisance se distingue de l'entrée abusive en ce que la première cause un préjudice à la propriété de façon indirecte et que la seconde porte sur une action directe, l'entrée physique[45], intentionnelle ou non[46]. Il peut y avoir entrée abusive lorsque, par exemple, de la pierre, de la terre, de l'eau[47] sont déposées sur le terrain d'autrui sans sa permission. Il peut également y avoir entrée abusive si quelque chose est enlevé du terrain d'autrui sans sa permission, y compris une partie du terrain lui-même, de la surface ou du sous-sol. Le propriétaire foncier a droit, entre autres, au support vertical. Si quelqu'un fouille sous le terrain d'autrui et en cause de ce fait l'affaissement, le propriétaire touché peut, en plus d'intenter une action pour entrée abusive *per se*, recouvrer de l'intrus le coût des réparations et le montant de la dépréciation subie[48].

Si l'on suppose que le propriétaire du terrain a également droit aux minerais qui s'y trouvent, il peut recouvrer la valeur du minerai extrait, moins les dépenses qu'a engagées l'intrus pour leur extraction, si ce dernier a agi de bonne foi[49]. De la même manière, le propriétaire foncier peut obtenir réparation si d'autres matériaux, comme du sable ou du gravier, ont été enlevés de sa propriété. Dans ce cas, l'indemnisation est évaluée en fonction de la dépréciation du terrain, et non du coût de sa remise en état. Mais si l'intrus s'est approprié les matériaux pour son propre usage, le montant des dommages-intérêts peut être augmenté de la valeur que les matériaux représentent pour lui[50].

Droits de riverain — Les droits de riverain découlent d'un droit détenu sur une propriété en bordure de laquelle (ou sur laquelle) se trouve un plan d'eau. Ces droits sont distincts des droits sur les eaux souterraines. Si l'atteinte aux

eaux souterraines équivaux à une négligence ou à une nuisance, le propriétaire a un droit d'action. C'est notamment ce qui arrive lorsque des puits profonds sont asséchés sans égard aux conséquences de l'abaissement de la nappe phréatique sur les terres environnantes: diminution du support, compression des strates et, ultimement, affaissement[51].

Les droits de riverain ne sont pas liés à la propriété du lit des eaux[52], lequel appartient habituellement à la Couronne en vertu de la common law ou de la loi écrite s'il n'y a pas eu concession expresse aux propriétaires des terres adjacentes. Le droit fondamental consiste à garder l'eau dans le même état sans que personne ne puisse, sans autorisation, en modifier la quantité ou la qualité[53], tout en permettant aux propriétaires riverains d'en faire un usage raisonnable pour leurs propres fins. Sur le plan de la dégradation du sol, la valeur véritable des droits de riverain ne réside pas dans la qualité de l'eau, à moins que des polluants véhiculés par elle ne soient déposés sur le terrain, mais bien dans le fait que la présence réelle de l'eau, c'est-à-dire sa quantité, peut influer sur l'utilisation du terrain.

Le propriétaire riverain a le droit de protéger son terrain contre l'érosion par des barrières ou des remblais. Il peut empêcher (au moyen d'une injonction par exemple) l'enlèvement non autorisé, du lit du cours d'eau, de sable ou de gravier formant une barrière naturelle et empêchant l'eau d'empiéter sur le terrain[54]. Lorsque des eaux navigables empiètent sur des terres privées, ces dernières passent à la Couronne dans la mesure où elles forment dorénavant le lit d'un cours d'eau navigable[55]. Pour protéger ses biens, le propriétaire riverain doit cependant avoir recours à des mesures raisonnables qui ne sont pas de nature à causer un préjudice à d'autres terres. Bien que le propriétaire puisse exercer raisonnablement ses droits au drainage dans un cours d'eau naturel sans être tenu légalement responsable des conséquences subies en aval[56], un ouvrage fait par la main de l'homme peut engager sa responsabilité. Lorsque le débit naturel de l'eau qui traverse une propriété est artificiellement augmenté ou bloqué (causant ainsi l'inondation de terres en amont) au détriment d'un autre propriétaire foncier, l'auteur de l'ouvrage est responsable du dommage causé[57], même si le cours d'eau en question ne coule que de façon intermittente, par exemple lors du ruissellement printanier[58]. Est également responsable des dommages quiconque détourne sans autorisation, par un ouvrage quelconque, un cours d'eau de son lit naturel vers les terres d'autrui où il ne coulait pas auparavant[59].

Négligence — La négligence est la terminologie utilisée pour désigner les poursuites civiles engagées par suite d'un préjudice résultant de ce que la société considère comme une conduite inférieure à la norme[60]. La faute est une composante essentielle de la négligence; le poursuivant doit en faire la preuve, sans quoi il sera débouté contrairement à ce qui se produirait dans une poursuite pour nuisance. La preuve de négligence s'articule autour de cinq éléments fondamentaux: l'obligation de soin, le manquement à cette obligation, le préjudice causé, le lien causal entre le manque de soin et le préjudice subi et la conduite de la partie lésée.

(i) Obligation de soin – C'est une obligation légale, imposée à toute personne qui s'engage dans une activité, de se conformer aux règles de conduite normalement acceptées par la collectivité relativement à cette activité. Non seulement le devoir doit-il exister, mais il doit aussi être dû à la personne ayant subi le préjudice.

(ii) Manquement à l'obligation – La partie responsable du préjudice doit avoir apporté moins de soin que ce qu'exigeaient les circonstances; la question est de savoir ce qu'une «personne raisonnable» aurait fait, dans la même situation, pour éviter de causer un préjudice en se livrant à cette activité.

(iii) Préjudice – Un dommage doit avoir été causé, sans quoi aucune indemnisation ne peut être évaluée ni accordée. Il est toutefois possible qu'une conduite n'entraînant aucun préjudice ait des conséquences sur le plan légal.

(iv) Lien causal – Le dommage doit résulter d'un préjudice direct et prévisible attribuable au manque de soin. Il doit être direct en ce sens qu'aucune négligence imputable à un tiers, susceptible d'en être la cause réelle, ne doit entrer en ligne de compte. Il se peut cependant qu'il y ait plus d'une partie négligente, agissant indépendamment l'une de l'autre, chacune étant dans ce cas responsable du dommage dans la mesure de sa contribution. Le dommage doit avoir été prévisible du moins quant à sa nature; il n'est cependant pas nécessaire de pouvoir en prévoir l'importance pour en être entièrement responsable. Mais si le risque de causer un dommage était trop faible pour être envisagé, l'auteur du dommage peut être libéré de toute responsabilité.

(v) Conduite de la partie lésée – Si la personne lésée savait qu'elle courait le risque de subir un dommage et a accepté de le faire, elle ne peut se plaindre du dommage survenu, ayant volontairement donné son consentement éclairé. Si le préjudice subi diffère de celui auquel elle avait accepté de s'exposer, elle peut obtenir réparation. Si la personne lésée a également fait preuve de négligence, contribuant ainsi à son propre préjudice, elle ne pourra recouvrer du défendeur que des dommages-intérêts proportionnels au degré de responsabilité de ce dernier.

Il peut y avoir négligence dans toute situation où il existe entre les parties une relation impliquant une obligation de soin, et un manquement à celle-ci. Ce manquement peut prendre des formes diverses: action négligente, lorsque par exemple un organisme gouvernemental érige sur une rivière une barrière contre l'érosion ayant un vice de construction qui la fait céder sous l'effet conjugué des glaces et des vagues, et que les matériaux qui la formaient se retrouvent épars sur la rive d'un terrain appartenant à un tiers qui ne peut plus l'utiliser à des fins récréatives[61]; négligence par omission, par exemple dans le cas où une municipalité n'inspecte pas, pendant six ou sept ans, une bouche d'accès d'égout et qui, de ce fait peut être considérée comme ayant matériellement augmenté les risques d'accident, comme le débordement des égouts sur la propriété du demandeur à cause de débris logés dans l'égout collecteur de la ville[62]; enfin, la négligence par fausse représentation, par exemple lorsqu'un agronome chevronné à l'emploi d'un fabricant recommande un herbicide censément inoffensif pour les plantes sans préciser que dans certaines conditions un résidu dommageable reste dans le sol (dans ce cas, la récolte du demandeur a été à toutes fins utiles exterminée)[63]. Une fois tous les éléments prouvés, les moyens de défense (autres que celui de «l'acceptation volontaire du risque» précédemment noté) qui peuvent totalement relever la partie négligente de sa responsabilité - l'accident inévitable, le cas de force majeure et le fait de guerre - sont peu nombreux et l'on peut rarement s'en prévaloir.

Responsabilité stricte — Dans le cas de la responsabilité stricte, contrairement à la négligence pour laquelle il faut prouver la faute, la partie qui amène sur sa propriété ou sur celle qu'elle occupe à une fin particulière[64], quelque chose qui entraîne une utilisation non naturelle du terrain, par exemple une société pétrolière qui fait passer un pipeline sur des terres privées, est tenue légalement responsable du dommage qui résulte du fait que cette «chose» s'échappe. Il n'est pas nécessaire que la chose soit dangereuse en soi, comme un acide, mais il peut s'agir d'une concentration élevée d'une substance relativement inoffensive dans des conditions normales, comme l'eau, qui se retrouve en quantité telle que cela constitue un usage non naturel du terrain. Le principe de la responsabilité stricte a été énoncé dans une ancienne cause où il était question d'un réservoir d'eau qui s'était rompu et avait inondé une mine voisine[65]. Mais ce principe ne s'applique que lorsque la substance responsable du dommage est apportée sur la propriété d'où elle s'échappe, et non si elle s'y trouve à l'état naturel[66]. Il semble que non seulement la personne qui apporte la substance sur le terrain et la laisse s'échapper soit tenue responsable, mais également celle qui a pris l'initiative de la faire apporter, comme dans le cas du responsable de la vaporisation d'une récolte et de l'agriculteur qui l'a l'employé[67].

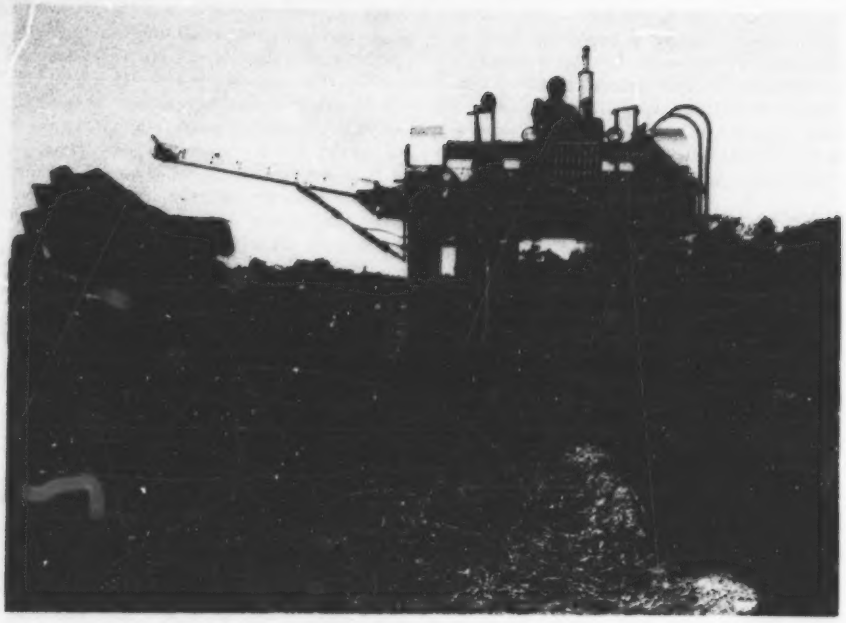


Photo 9. Récolte du raisin dans la vallée du Niagara.
NFB–PHOTOTHEQUE–ONF Julien Le Bourdais

Il importe de poursuivre tous les responsables éventuels; le tribunal, quelles que soient ses sympathies envers la partie lésée, ne pourra condamner que les responsables véritables. Dans une affaire de responsabilité stricte, la cour d'appel a renversé la décision de première instance qui avait accordé au demandeur une indemnisation pour les sept années pendant lesquelles il ne pourrait profiter de son jardin parce qu'un poste d'essence en avait pollué le sol. La poursuite avait été intentée contre la société pétrolière propriétaire du poste, mais la Cour d'appel a statué qu'il aurait plutôt fallu poursuivre le locataire, lequel était responsable des opérations[68]. Dans une autre affaire de responsabilité stricte, le tribunal a laissé entendre que l'injonction et l'action en dommages-intérêts pour perte d'usage d'un bien-fonds n'étaient pas les seuls recours d'une personne dont le terrain a été pollué (dans ce cas, il s'agissait également d'une fuite d'essence), mais qu'il était également possible d'obliger la partie responsable à nettoyer le sol[69]. On peut présumer que lorsque la substance polluante ne peut être enlevée, comme ce fut le cas du radon à Port Hope en Ontario, le sol pollué doit être remplacé.

Les objections et les recours civils au Québec ne relèvent pas de la common law, mais sont codifiés. En conséquence, le précédent et la jurisprudence prennent moins d'importance dans cette juridiction que dans le reste du Canada. La codification ne fait que changer la source du droit civil; les droits sont, essentiellement, très semblables à ceux des juridictions de common law. La partie lésée a également droit à l'indemnisation et, en vertu du Code de procédure civile du Québec, d'obtenir les ordonnances judiciaires d'injonction (art. 751–761), de jugement déclaratoire (art. 453–456 et 462) et de mandamus (art. 834–837 et 844–845). Le Code civil édicte l'obligation fondamentale selon laquelle une personne capable de discerner le bien du mal est responsable du dommage qu'elle cause à autrui par sa faute (art. 1053). En conséquence, comme dans l'action pour négligence en common law, la partie lésée doit prouver la faute et établir qu'elle était la cause raisonnablement directe du dommage. Dans la mesure où le dommage constitue la perte de jouissance et d'usage du droit du demandeur sur la propriété, l'article 1053 peut également servir de base à une poursuite pour nuisance. En effet, cette disposition se prête à une interprétation suffisamment large pour inclure la plupart des actions en dommages-intérêts pour atteinte au droit de propriété.

Des droits de riverain généraux, par ailleurs, sont énoncés dans une autre partie du Code civil (art. 501–503). Ces dispositions stipulent que le propriétaire en aval a droit à la réception d'eaux qui s'écoulent de façon naturelle sans que le propriétaire en amont ne fasse rien qui y porte préjudice; que le propriétaire en aval ne doit pas élever de digue qui empêche cet écoulement (art. 501); et que le cours normal des eaux ne doit pas être dévié (art. 503). Une action spéciale peut être intentée lorsque ces obligations n'ont pas été respectées; par l'action négatoire, le demandeur cherche à faire cesser le préjudice porté à ses droits. Cette action comporte l'avantage de ne pas donner ouverture au moyen de défense dont le défendeur peut se prévaloir contre une injonction, soit que l'appréciation des préjudices permet d'établir que le demandeur peut obtenir réparation suffisante par une indemnisation seulement[70], tandis que l'injonction causerait une grave atteinte à l'auteur du dommage, dans le cas par exemple où il serait forcé de fermer l'exploitation commerciale qui est à l'origine du dommage. Rien n'empêche, cependant, la partie lésée, qu'elle soit au Québec ou dans une juridiction de common law, de se prévaloir de plusieurs recours à la fois pour le dommage subi.

Quels que soient les droits et les recours prévus en common law ou en vertu des codes québécois, ils sont sujets à modification par la loi. Ainsi, en Ontario par exemple, depuis l'adoption de la Trespass to Property Act[71] celui qui fait une entrée abusive peut également être mis à l'amende. À l'inverse, la loi peut restreindre et même abolir des droits ou des recours civils dans certaines situations. Ainsi, une modification apportée en 1926 à la Loi des cités et villes[72] du Québec interdit l'émission d'injonctions contre les industries établies depuis plus de cinq ans qui sont autorisées par arrêté municipal à exercer leurs activités dans la collectivité[73]. Le délai pour intenter une action constitue une autre limite imposée à la partie lésée dans l'exercice de ses recours; cette prescription commence habituellement à courir à partir de la date où le dommage a été causé. L'article 2261 du Code civil indique que les actions découlant de l'article 1053 doivent être intentées dans un délai de deux ans, tandis que les provinces de common law disposent de lois sur la prescription qui fixent des délais généraux et particuliers, comme par exemple la loi ontarienne[74] qui fixe à six ans le délai de prescription pour entrée abusive. En outre, certaines lois édictent des délais de prescription applicables aux actions qui en découlent, comme la Loi sur la responsabilité nucléaire[75] qui fixe à trois ans le délai dans le cas des dommages à la propriété.

Il y a des avantages et des inconvénients qui se rattachent au recours à l'action civile plutôt qu'aux mesures visant à faire respecter les normes établies par la loi. Le premier avantage, celui de l'indemnisation, a été élargi par la reconnaissance judiciaire de la possibilité d'avoir recours à l'action civile dans le cas de la violation d'une loi. Lorsqu'une catégorie de personnes (par opposition à la population en général), dont la partie lésée, n'a pas été protégée comme il se doit et que la violation est la cause réelle du dommage, une action civile en dommages-intérêts peut être intentée contre l'auteur, qu'il y ait eu ou non négligence de sa part[76]. Même si l'action se fonde sur les seuls droits civils (découlant de la common law ou du Code civil), la preuve de la violation de la loi, dans la mesure où elle constitue la cause réelle

du dommage, établit une présomption de négligence de la part de l'auteur du dommage[77], ce qui aide la partie lésée à prouver sa cause. Cependant, il incombe toujours au poursuivant de prouver ses allégations, tant dans le cas de l'action civile que dans celui de la violation d'une loi. Mais il reste que le degré de preuve exigible dans une action civile est moindre que la «preuve au delà de tout doute raisonnable» exigible en droit criminel. Dans les procédures civiles, il suffit d'établir la «prépondérance de la preuve»: en d'autres termes, il faut établir qu'il est probable que la demande est justifiée.

L'action civile a pour inconvénients principaux que le prononcé du jugement se fait habituellement attendre assez longtemps et qu'elle est relativement coûteuse, particulièrement si le demandeur perd sa cause et est condamné à payer une partie ou la totalité des frais du défendeur. Qui plus est, dans certain cas, les cours civiles peuvent même refuser d'entendre une cause si le demandeur n'est pas le propriétaire du bien-fonds visé, au motif, s'il s'agit par exemple d'un locataire, qu'il n'a pas à l'égard du bien-fonds l'intérêt suffisant pour obtenir réparation par suite des dommages causés audit bien.

LE DROIT INTERNATIONAL

La pollution n'a pas de frontière, mais il n'y a toujours pas à l'heure actuelle un ensemble de règles universelles qui soit destiné à protéger l'environnement[78]. Cependant, quatre principes de responsabilité à l'égard de l'environnement ont reçu une certaine reconnaissance de la part des nations. Les trois premiers: l'obligation de ne pas polluer l'État voisin, l'obligation de ne pas utiliser des espaces d'intérêt commun au détriment d'autres États et l'obligation de compenser le dommage causé à d'autres États, ont été enchâssés dans la déclaration relative à l'environnement humain de la Conférence de Stockholm de 1973 (qui a été adoptée plus tard par l'Assemblée générale des Nations-Unies). Le quatrième, l'obligation de consultation dans certaines circonstances lorsqu'il y a risque de dommage, a été adopté séparément[79]. L'application de ces principes dépend de la bonne volonté des États puisqu'aucun organisme de surveillance n'a été créé.

Traditionnellement, le «droit des gens», qu'il s'agisse de la coutume (basée sur des pratiques acceptées internationalement et sur des sentences arbitrales) ou de conventions internationales écrites (résultant habituellement de négociations bilatérales ou de la signature de conventions multilatérales) n'a pas reçu l'application souhaitée, particulièrement en ce qui concerne les individus. En effet, pour qu'un citoyen puisse faire entendre sa plainte à l'encontre d'un pays étranger par la Cour internationale de justice, par exemple, il doit d'abord convaincre son propre gouvernement national de prendre fait et cause pour lui, parce que seuls les États, et non leurs ressortissants, peuvent devenir partie à un litige de cette nature. En conséquence, il semble que le gouvernement canadien puisse présenter à la Cour à la fois sa propre demande d'indemnisation pour les dommages qu'il a subis, comme sa réclamation pour frais de nettoyage, par exemple, et la demande de l'un de ses ressortissants pour le préjudice qui lui a été causé personnellement. Mais il ne s'agit pas d'un droit absolu; les deux États doivent convenir de saisir la Cour internationale de justice pour qu'elle puisse entendre l'affaire.

Il est maintenant clair qu'en droit international, un pays n'est pas tenu responsable seulement des actes commis par son gouvernement ou ses mandataires. L'État engage également sa responsabilité si, par faute de contrôle, ses ressortissants (qu'il s'agisse de personnes physiques ou morales) causent un préjudice à un autre État. La décision clé sur ce point, rendue par suite de plaintes déposées par des agriculteurs américains pour les dommages qui avaient été causés à leurs terres par une fonderie de Colombie-Britannique, énonce la règle comme suit:

«(traduction) ...aucun État n'a le droit d'utiliser son territoire, ou de permettre qu'il soit utilisé, de manière à causer un dommage... au territoire d'un autre État ou aux biens ou personnes qui s'y trouvent, lorsque les conséquences sont graves et que le dommage est prouvé de manière claire et convaincante.»[80]

Cette affaire a la particularité d'être la seule où le Canada et les États-Unis d'Amérique aient accepté de soumettre une question relative à l'environnement, autre qu'un litige portant sur les eaux territoriales, à la Commission mixte internationale dans l'exercice de sa compétence optionnelle en vertu de l'article X du Traité des eaux limitrophes de 1909.

Lorsque la pollution provient d'une source privée aux États-Unis (par opposition à une source gouvernementale), les Canadiens n'ont nul besoin d'attendre que leur gouvernement se charge d'obtenir pour eux des dommages-intérêts. Dans une affaire, trente-sept résidants de l'Ontario ont intenté une action collective devant une Cour fédérale américaine pour les dommages que trois compagnies du Michigan avaient causés à leurs personnes et à leurs biens en polluant l'atmosphère[81]. Le tribunal a statué qu'ils avaient un intérêt suffisant, en vertu de la common law, pour intenter une action pour nuisance (ils en sont par la suite venus à un règlement hors cour[82]). Il semble que, lorsqu'une loi étrangère prévoit une indemnisation pour des dommages résultant d'un acte «intérieur», ce qui est le cas par exemple de l'Atomic Energy Act de 1954 des États-Unis, un citoyen canadien pourrait produire une réclamation de son propre chef devant les tribunaux de ce pays, même si sa demande était, en tout ou en partie, faite à l'encontre du gouvernement étranger lui-même ou d'un organisme qui relève de lui. Mais, si la responsabilité du pays étranger, qu'elle soit absolue ou non, découle d'une convention internationale (comme, par exemple, la Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux, 1972, Article II) et que les tribunaux de l'État signataire ne permettent pas à la partie lésée d'actionner de son propre chef, la demande de dommages-intérêts du ressortissant ne pourrait être introduite que par son gouvernement en vertu des règles ordinaires du droit international.

LES TENDANCES FUTURES DU DROIT DE L'ENVIRONNEMENT

Depuis plusieurs années, dans ce domaine, on met l'accent sur la détermination et la réduction des répercussions sur l'environnement des projets de grande envergure. Les provinces intègrent actuellement dans leurs lois sur la protection de l'environnement, ou adoptent comme loi distincte, des dispositions imposant une évaluation des répercussions sur l'environnement préalable à toute autorisation de projet; à titre d'exemple, citons l'Environmental Assessment Act qui a été adoptée par la législature de Terre-Neuve en 1980.

Une autre nouveauté législative est probablement destinée à obtenir une reconnaissance plus large, c'est le principe du «pollueur payeur» qui, désormais, s'applique non seulement aux amendes, mais également aux opérations de nettoyage nécessaires tant dans le cas de la pollution causée par des activités normales que dans celui des accidents. Dans l'Environmental Protection Act de l'Ontario, de nouveaux articles ont été ajoutés qui donnent au Ministre des pouvoirs accrus de proposer des mesures correctrices dans le cas des «déversements accidentels» (art. 72–112). Au lieu d'être paralysé par le délai d'appel, dont se prévalent les pollueurs à l'encontre d'ordonnances de nettoyage pendant que la pollution continue de faire ses ravages (comme ce fut le cas lors d'un déversement de P.C.B.[83]), le Ministre peut ordonner à toutes les personnes suivantes ou à l'une d'entre elles de prendre des mesures correctrices: le propriétaire de l'agent polluant, la personne qui en a le contrôle; la personne dont la propriété est polluée ou risque de l'être; la municipalité dans laquelle ou près de laquelle le déversement a eu lieu, qui a été polluée ou qui risque de l'être; tout pouvoir public; toute personne qui en subit l'effet nocif ou qui risque de le subir; et toute personne dont l'intervention est nécessaire pour le combattre (art. 85). Ces articles relatifs aux déversements n'ont cependant pas encore été proclamés, bien qu'ils aient été adoptés en 1979.

Au cours de la dernière décennie, la population s'est davantage sensibilisée au problème de la pollution et a compris qu'il était important de

protéger son environnement. À cela s'est ajoutée une volonté populaire de plus en plus manifeste d'assurer une protection effective de l'environnement en général, non seulement au profit de la personne qui a subi directement un préjudice, mais également au profit de tous ceux qui ont subi un dommage par suite d'un incident. Jusqu'à maintenant, le concept du droit à l'action collective a été restreint par interprétation judiciaire à une catégorie précise de personnes ayant un intérêt commun, qui sont représentées par l'une d'elles, qui ont toutes subi le même préjudice et cherchent, en conséquence, à obtenir la même réparation. Au Canada, il y a de plus en plus de gens qui voient en l'action collective le recours juridique le plus expéditif, le plus approprié et le moins coûteux dont on puisse disposer. Cette tendance, conjuguée au perfectionnement de la technologie et au caractère de plus en plus onéreux du système judiciaire, rend l'action collective plus intéressante et plus pratique comme moyen de traiter, à l'échelle individuelle, des problèmes de pollution de grande envergure.

Il est clair que la sensibilisation de la population et les pressions qu'elle a faites ont beaucoup contribué à l'élaboration du droit de l'environnement, tant par les corps législatifs que par les cours de justice. La population étant plus avertie et plus active, les hommes et femmes politiques réagissent davantage; des lois plus dures sont adoptées et proclamées, des règlements imposant des contrôles stricts sont édictés et mis en application; moins d'exceptions sont proposées ou permises et davantage de poursuites sont promises et intentées. Un groupe de pression formé de citoyens organisés, tenaces et avertis peut gagner l'appui d'un homme ou d'une femme politique autant qu'un groupe de pression formé d'entreprises et a même, peut-être, plus de chances parce qu'il représente des voix en temps d'élection. Les juges sont également influencés par ce qu'ils estiment être les valeurs sociales admises au sein de la population; la gravité de l'infraction se reflète habituellement par l'imposition d'une peine plus sévère.

Le droit n'évolue pas ni ne fonctionne en vase clos; ce sont les valeurs généralement admises qui dictent les normes légales. Tant que la population insistera sur la responsabilité à l'égard de l'environnement, les législateurs et ceux qui veillent à faire appliquer la loi accorderont à celui-ci, en contrepartie, la reconnaissance et la protection de la loi.

Photo 10. Champs jonché de déchets.
NFB–PHOTOTHEQUE–Tom Bochsler

Ce texte a été révisé par Louise Sabourin-Hébert, Conseiller juridique, Services juridiques, Environnement Canada, Ottawa (Ontario).

RENVOIS

[1] La présente étude ne se veut pas exhaustive. Pour des données supplémentaires, les ouvrages suivants peuvent être consultés. Dans le cas d'un problème de pollution particulier, il vaut mieux cependant faire appel à un conseiller juridique.

Emond, P. Stop It!: A guide for citizen action to protect the environment of Nova Scotia (Ottawa: Association canadienne d'urbanisme, 1976).

Estrin, D., et Swaigen, J. Environment On Trial: A Handbook of Ontario Environmental Law (Toronto: Canadian Environmental Law Research Foundation, 1978).

Franson, R.T., et Lucas, A.R. Canadian Environmental Law, 7 volumes (Toronto: Butterworth & Co. (Canada) Ltd., 1976).

Ince, J.G. Environmental Law: A Study of Legislation Affecting the Environment of British Columbia (Vancouver: Centre for Continuing Education, University of British Columbia, 1976).

Société pour vaincre la pollution: The Environment and the Law: The Citizen's Role (Montréal: Société pour vaincre la pollution (SVP), 1971).

[2] 30 & 31 Victoria, c. 3.

[3] *Ibid.*, art. 91, 94 et 95.

[4] Acte de l'Amérique du Nord britannique, 1871, 34 & 35 Victoria, c. 63, art. 2

[5] A.A.N.B., 1867, 30 & 31 Victoria, c. 3, art. 92, 92A et 95, modifiés.

[6] *Ibid.*, art. 129

[7] 28 & 29 Victoria, c. 63, art. 2

[8] 22 & 23 George V, c. 4, art. 2-4

[9] *Ibid.*, art. 7

[10] A.A.N.B., 1867, précité, art. 95

[11] *Ibid.*, art. 91 et 92

[12] Voir la cause statuant sur la validité de l'al. 5*a*) de la Loi sur l'industrie laitière, (1950) 4 D.L.R. 689 (C.P.)

[13] Attorney-General of Nova Scotia c. Attorney-General of Canada, [1951] S.C.R. 31.

[14] R. c. C.S.L. LTD, [1961] O.W.N. 89 (Cour de comté).

[15] Voir Cardinal c. A.-G. of Alberta, [1974] S.C.R. 695.

[16] A.-G. of Ontario c. A.-G. of Alberta, [1896] A.C. 348 (C.P.).

[17] Interprovincial Co-operatives Ltd. and Dryden Chemicals Ltd. c. La Reine, [1976] 1 R.C.S. 477, p. 515-516 (J. Pigeon, obiter dictum).

[18] Township of Uxbridge c. Timber Brothers Sand & Gravel Ltd., (1975) 7 O.R. (2d) 484 (C.A.).

[19] A.-G. of Nova Scotia c. A.-G. of Canada, précité.

[20] Coughlin c. Ontario Highway Transport Board, [1968] R.C.S. 569.

[21] Interprovincial Co-operatives Ltd. et al. c. La Reine, *supra.*

[22] A.A.N.B., 1867, précité, art. 91.

[23] Règlement de l'impôt sur le revenu, Codification des règlements du Canada, 1978, c. 945, al. 1100(1)*t* adopté en conformité de la Loi de l'impôt sur le revenu, S.C. 1970-71-72, c. 63, al. 20(1)*a*.

[24] Environmental Assessment Act, R.S.O. 1980, c. 140.

[25] Loi sur le contrôle de l'énergie atomique, S.R.C. 1970, c. 19, art. 9.

[26] S.R.C. 1970, c. P-11.

[27] Voir La Forest, G.V.: Natural Resources and Public Property under the Canadian Constitution (Toronto: University of Toronto Press, 1969).

[28] Les deux systèmes s'inspirent de la maxime latine «*Cujus est solum ejus est usque ad coelum et ad inferos*».

[29] Re Rockcliffe Park Realty Ltd. and Director of the Ministry of the Environment *et al.*, (1975) 62 D.L.R. (3d) 17 (C.A. Ont.). La pollution reprochée résultait du dépôt de matériaux de remplissage sur un terrain naturellement marécageux en vue d'y faire de la construction résidentielle.

[30] Loi sur les parcs nationaux, S.R.C.1970, c. N-13, art. 4.

Loi sur les Indiens, S.R.C. 1970, c. I-16, art. 18. D'autres facteurs entrent en ligne de compte dans la question des réserves, notamment les traités relatifs aux Indiens et les ententes entre le gouvernement fédéral et les provinces.

[31] Green c. The Queen in Right of the Province of Ontario *et al.*, (1973) 34 D.L.R. (3d) 20 (H.C.).

[32] S.R.C. 1970, c. C-34, modifiée.

[33] Berner, S.H.: Private Prosecution & Environmental Control Legislation: A Study (Ottawa: Environnement Canada, 1972).

[34] Code criminel, S.R.C. 1970, c. C-34, art. 455.

[35] *Ibid.*, art. 744.

[36] R. c. Adventure Charcoal Enterprises Ltd., (1972) 9 C.C.C. (2d) 81 (Cour prov. Ont.).

[37] La moitié de l'amende peut être remise au dénonciateur en vertu de la Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs, S.R.C. 1970, c. M-12, art. 12, et du Règlement sur les amendes et le produit des confiscations, C.R.C. 1978, c. 827, art. 5 adopté en vertu de la Loi sur les pêcheries, S.R.C. 1970, c. F-14, art. 67.

[38] Walker c. McKinnon Industries Ltd., [1951] 3 D.L.R. 577 (C.P.). Pour une décision plus récente, consulter Schenck *et al.* c. The Queen in Right of Ontario, (1982) 34 O.R. (2d) 595, aux pages 602–605.

[39] Hickey c. Electric Reduction Co., (1970) 21 D.L.R. (3d) 368 (T.-N.).

[40] Cairns c. Canada Refining and Smelting Co., (1914) 6 O.W.N. 562 (C.A.)

[41] Hutson c. United Motor Service Ltd., [1937] S.C.R. 294.

[42] Bridges Brothers Ltd. c. Forest Protection Ltd., (1977) 72 D.L.R. 3 (d) 335 (N.-B.).

[43] Russell Transport Ltd. c. Ontario Malleable Iron Co., [1952] 4 D.L.R. 719 (H.C. Ont.).

[44] Dufferin Paving & Crushed Stone Ltd. c. Anger, [1940] S.C.R. 174.

[45] Philips c. California Standard Co., (1960) 31 W.W.R. 331 (Alberta).

[46] F.W. Jeffrey & Sons c. Copeland Flour Mills Ltd., [1923] 4 D.L.R. 1140.

[47] Campbell c. Reid, (1857) 14 U.C.Q.B. 305; Pinder c. Sanderson *et al.*, (1911) 2 O.W.N. 726.

[48] Carr-Harris c. Schacter and Seaton, (1956) 6 D.L.R. (2d) 225 (H.C. Ont.).

[49] Wellington Colliery Co. and E & N Railway c. Pacific Coast Coal Mines Ltd., (1918) 26 B.C.R. 315 (C.A.).

[50] Lloyd c. Dartmouth, (1897) 30 N.S.R. 208 (C.A.); McIsaac c. Inverness Railway, (1906) 40 N.S.R. 579 (C.A.); Paffard c. Cavotti, [1929] 1 D.L.R. 111 (C.A. Ont.).

[51] Pugliese *et al.* c. National Capital Commission *et al.*; Beaver Underground Structures Ltd. *et al.*, Third Parties, (1977) 79 D.L.R. (3d) 592 (C.A. Ont.).

[52] Re Snow and Toronto, [1924] 4 D.L.R. 1023 (C.A. Ont.).

[53] John Young & Co., c. Bankier Distillery Co., [1893] A.C. 691 (C.L.).

[54] Kennedy c. Husband, [1923] 1 D.L.R. 1069 (Cour de comté C.-B.)

[55] McCormick *et. al.* c. Township of Pelée, (1890) 20 O.R. 288 (Div. de la Chanc.)

[56] In Re Townships of Orford and Howard *et al.*, (1891) 18 O.A.R. 496.

[57] McCord c. Alberta & Great Waterways Railway, (1918) 59 S.C.R. 667; Watson c. Perine, (1863) 13 U.C.C.P. 229 (C.A.).

[58] Kapicki, Ostashek, Tkachuk and Zabrick c. Andriuk and Andriuk (No. 2), [1975] 2 W.W.R. 264 (C.D. Alb.).

[59] Parr c. Troop, (1922) 65 D.L.R. 785 (C.A.N-É.).

[60]Pour un exposé clair sur les notions complexes de négligence et de responsabilité stricte, voir:

Fleming, J.G. An Introduction to the Law of Torts (Oxford: Clarendon Press, 1977).

[61] Rivard c. La Reine. 79 D.R.S., 90-443 (C.F.-Div. de prem. inst.).

[62] Dalpe c. The City of Edmundston, (1979) 22 N.B.R. (2d) 621 (C.A.).

[63] Fillmore's Valley Nurseries Ltd. c. North American Cyanamid Ltd., (1958) 14 D.L.R. (2d) 297 (N.-É.).

[64] Northwestern Utilities Ltd. c. London Guarantee & Accident Co., [1935] 4 D.L.R. 737 (C.P.).

[65] Rylands c. Fletcher, (1868) L.R. 3 H.L. 330.

[66] Bottoni *et al.* c. Henderson *et al.*, (1978) 21 O.R. (2d) 369 (H.C.J.).

[67] Bartel c. Ector, (1979) 90 D.L.R. (3d) 89 (Sask.).

[68] Boudreau c. Irving Oil Co., (1974) 9 N.B.R. (2d) 377 (C.A.).

[69] Allain c. Texaco Canada Ltd., (1979) 21 N.B.R. (2d) 681 (C.A.).

[70] Société pour vaincre la pollution: The Environment and the Law: The Citizen's Role (Montréal: S.V.P., 1971), p. 42.

[71] R.S.O. 1980, c. 511.

[72] L.R.Q. 1977, c. C-19, par. 413(17).

[73] Franson, R.T., Lucas, A.R. Giroux, L. et Kenniff, P.: Canadian Law and the Control of Exposure to Hazards (Ottawa: Conseil des sciences du Canada, 1977), p. 143.

[74] Limitations Act, R.S.O. 1980, c. 240, al. 45(1)*g*.

[75] Précité, art. 13.

[76] Sterling Trusts Corp. c. Postma *et al.* [1965] R.C.S. 324.

[77] Chapman c. Wilson, (1930) 1 M.P.R.1 (C.A.N.-B.).

[78] Pour des analyses plus détaillées, voir:

Ianni, R.W. «International and Private Actions in Transboundary Pollution», (1973) 11 Canadian Yearbook of International Law, p. 258–270, et

McCaffrey, S.C. Private Remedies for Transfrontier Environmental Disturbances (Morges: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 1975).

[79] Beesley, J.A. «The Canadian Approach to International Environmental Law», (1973) 11 Canadian Yearbook of International Law, p. 3–12, à la p. 8.

[80] Trail Smelter Arbitral Tribunal, (1941) 35 American Journal of International Law, pp. 684-736, à la p. 716.

[81] Michie *et al.* c. Great Lakes Steel Division *et al.*, Civil Action #35079 (U.S.D.C.).

[82] «First Canadian Suit Against Air Pollution in U.S. Courts Ends», (1975) 4 C.E.L.N. 40.

[83] Re Canadian Pacific Ltd. and Director of Ministry of the Environment, (1978) 19 O.R. (2d) 498 (C.D.).

LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES DANS LES CITATIONS:

Lois, ordonnances et règlements:

S.C.	Statuts du Canada
S.R.C.	Statuts révisés du Canada
L.N.-B.	Lois du Nouveau-Brunswick
L.R.N.-B.	Lois révisées du Nouveau-Brunswick
R.O.N.W.T.	Ordonnances révisées des Territoires du Nord-Ouest
L.R.Q.	Lois refondues du Québec
R.O.Y.T.	Ordonnances révisées du Territoire du Yukon
30 & 31	Victoria – Cette référence indique l'année du règne pendant laquelle le statut britannique a été adopté.
C.R.C.	Codification des règlements du Canada
c.	Chapitre (lois et règlements); contre (causes)
art.	Article
par.	Paragraphe
al.	alinéa

Recueils de jurisprudence:

A.C.	Appeal Cases (British series)
B.C.R.	British Columbia Reports
C.C.C.	Canadian Criminal Cases
C.E.L.N.	Canadian Environmental Law News
D.L.R.	Dominion Law Reports
D.R.S.	Dominion Report Service
L.R.	Law Reports (British series)
M.P.R.	Maritime Provinces Reports
N.B.R.	New Brunswick Reports
N.S.R.	Nova Scotia Reports
O.A.R.	Ontario Appeal Reports
O.R.	Ontario Reports
O.W.N.	Ontario Weekly Notes
R.C.S.	Recueils de la Cour suprême
S.C.R.	Canada Supreme Court Reports
U.C.C.P.	Upper Canada Common Pleas Reports
U.C.Q.B.	Upper Canada Queen's Bench Reports
W.W.R.	Western Weekly Reports

Tribunaux:

C.A.	Cour d'appel
C. de comté	Cour de comté
C.D.	Cour de district
C.F. Div. de prem. inst.	Cour fédérale, Division de première instance
C.L.	Chambre des Lords (britannique)
C.P.	Conseil privé de la Reine (Britannique)
C. prov.	Cour provinciale
Div. de la Chanc.	Division de la Chancellerie
H.C.	Haute Cour
H.C.J.	Haute Cour de Justice

Sauf indication contraire, le jugement a été rendu par la cour supérieure de la province.